Münster 1925 K

Chemie.

Zersetzung und Wirkung von Stroh- und Torfstreustalldünger im Boden.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

der

Philosophischen und Naturwissenschaftlichen Fakultät
der westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster i. W.

vorgelegt von

Paul Niemeyer
aus Münster i. W.

1925

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Juli 1928.
Dekan: Prof. Dr. Ettlinger.
Referent: Prof. Dr. Bömer.

Druck von Hermann Beyer & Söhne (Beyer & Mann) in Langensalza.

Zersetzung und Wirkung von Stroh- und Torfstreustalldünger im Boden.

Von

PAUL NIEMEYER.

Die mannigfaltige industrielle Verwendung des Getreidestrohes und der zeitweise Mangel infolge von Mißernten haben für den Gebrauch als Stallstreu einen Ersatz gefordert, der bei gutem Wasseraufsaugungsvermögen einerseits für die Tiere ein weiches und trockenes Lager ergibt, andererseits als Träger eines wertvollen Düngers dienen kann. Die für diesen Zweck hergestellte Torfstreu scheint beiden Anforderungen am besten zu genügen. Andere Ersatzstoffe wie Mais-, Bohnen-, Erbsen- und Buchweizenstroh, Kartoffelkraut, Heidekraut, Plaggen und Sägemehl werden für den Zweck weniger geschätzt, weil sie gegenüber dem Getreidestroh zu wenig Wasser aufsaugen, dann auch, weil sie hart und grobfaserig sind, mehr Luft einschließen und deshalb größere Verluste an Stickstoff im Gefolge haben, oder auch, wie Heidekraut und Sägemehl, sich im Boden zu langsam zersetzen. Der Torfstreu dagegen werden dem Stroh (Roggen-, Weizen-, Gerste- und Haferstroh) gegenüber verschiedene Vorzüge eingeräumt,[1]) vorausgesetzt, daß die Torfstreu aus dem faserigen noch wenig zersetzten Moostorf in technisch richtiger Weise gewonnen ist.

Zu den Bedingungen, die man an eine Stallstreu zu stellen hat, gehört in erster Linie, daß sie den Harn und dünnbreiige Entleerungen der Tiere schnell und vollständig aufsaugt. In dieser Hinsicht und auch in der Absorption von Gasen übertrifft die

[1]) Vgl. F. Rahm, Torfstreu und Torfmull. Verlag Paul Parey, Berlin, 1922 S. 45.

Torfstreu alle anderen Streumittel. M. Fleischer[1]) hat hierüber die ersten Untersuchungen mitgeteilt. Während 100 Teile Getreidestroh 214—315 Teile Wasser aufzunehmen fähig waren, nahmen 100 Teile Torfstreu die fünf- bis achtfache Menge auf, nämlich 1100—2400 Teile Wasser. An der landwirtschaftlichen Hochschule Berlin von Berju[2]) angestellte Versuche lieferten fast die gleichen Ergebnisse, nämlich für die Torfstreu ein Wasseraufsaugungsvermögen von 859—1512 % ihres Eigengewichtes für Stroh dagegen nur von 208—255 %. Hier handelt es sich um die maximalen Wasseraufnahmewerte, für die Praxis müssen natürlich geringere Werte angenommen werden, und v. Feilitzen[3]) glaubt nach Versuchen einen Wert von 80 % der maximalen Werte annehmen zu dürfen. Indes kann man auf Grund der Laboratoriumsversuche annehmen, daß die Aufsaugsfähigkeit der Torfstreu 6 mal so hoch ist wie die des Strohs. Infolgedessen gebraucht man zur Aufsaugung der Entleerungen der Tiere von Torfstreu erheblich weniger als von Stroh. Dazu kommt, daß die Torfstreu, wenn sie nur zum Teil mit Wasser (hier Harn und Kot) gesättigt ist, den Tieren ein trockenes, warmes und weiches Lager bietet, wodurch ihre Leistungsfähigkeit gehoben werden soll. Tacke[4]) fand z. B. die Gewichtszunahme von 3 Gruppen Ochsen vom 10. November 1909 bis 31. März 1910 unter sonst gleichen Verhältnissen:

	auf Torfstreu	Strohstreu	ohne Streu
zu	380 kg	327 kg	223 kg

Die günstig Wirkung der Torfstreu nach dieser Richtung tritt aber nur ein, wenn sie nur zum Teil mit Jauche getränkt ist; denn in vollständig gesättigtem Zustande würde sie eine breiige Masse bilden, die ungünstig wirken würde.

Als weiterer Vorteil wird das größere Bindungsvermögen der Torfstreu für Ammoniak und andere schlecht riechende Gase hervorgehoben. Nach verschiedenen Versuchen, so von Arnold[5]),

---

[1]) M. Fleischer, Die Torfstreu, ihre Herstellung und Verwendung Verlag Paul Parey, Berlin, 1890, S. 31.

[2]) Vgl F. Rahm, Torfstreu und Torfmull. Verlag Paul Parey, Berlin, 1922, S. 46.

[3]) v. Feilitzen, Svenska mooskulturföreningens Tidskrift, 1912, 26, 234.

[4]) Flugblatt der D. L. G. Nr. 12.

[5]) Hannoversche Land- und Forstw. Ztg. 1881, Nr. 26.

E. Mach[1]) u. a. ist das Bindungsvermögen der Torfstreu für Ammoniak und übelriechende Gase 6 mal so hoch und höher als das des Strohs. Sehr gut veranschaulicht ein Versuch, der in der Versuchsanstalt für technische Moorverwertung in Hannover[2]) ausgeführt wurde, das verschiedene Absorptionsvermögen der Streumittel für Gase. In zwei gleichen Glaszylindern, die mit Ammoniakgas gefüllt und mit Öl gegen die Außenluft abgesperrt waren, wurden 2 g Torfstreu bezw. 2 g Stroh einige Zeit sich selbst überlassen. Entsprechend dem Absorptionsvermögen stieg die Absperrflüssigkeit und zwar in dem Zylinder, in dem sich die Torfstreu befand, etwa 6 mal so hoch wie in dem anderen. Dieser besonderen Eigenschaft wegen ist bei Verwenduug von Torfstreu nicht nur ein geringerer Verlust von Ammoniak zu erwarten, sondern wegen der besseren Bindung von übelriechenden Gasen auch eine reinere Stalluft gesichert. Die große Aufnahmefähigkeit der Torfstreu für Ammoniak ist nach Minßen[3]) auf den hohen Gehalt der Torfstreu an Humussäuren zurückzuführen. Der hohe Gehalt an Humussäuren ist es auch, der der Torfstreu eine bakterientötende Wirkung verleiht. Kirsteiner[4]) fand, daß die Entwicklung von Mikroorganismen in der Torfstreu gegenüber anderen Streumitteln stark gehemmt war, es betrugen die Keimzahlen für 1 g: Niederungsmoortorfstreu 9,3, Hochmoortorfstreu 1,1, Sägemehl 30,8 und Stroh 115,3 Millionen. Daß die Reinhaltung der Stalluft und die Abtötung von Bakterien bessere gesundheitliche Verhältnisse bei den Tieren zur Folge haben, ist naturgemäß und auch von verschiedenen Seiten bestätigt worden.[5]) Von der baktericiden Wirkung der Torfstreu macht man auch bei der Frischhaltung der Futter- und Nahrungsmittel Gebrauch.

Von wesentlicher Bedeutung aber ist die Frage, ob der zerfaserte bezw. zerkleinerte Torf als Träger der Ausscheidungen der Tiere einen Dünger bildet, der im Boden gleiche Wirkungen besitzt wie der Strohdünger. Diese Frage ist zu bejahen. Der Nährstoffgehalt der reinen Streumittel ist so unbedeutend, daß er für die Anreicherung der Nährstoffe im Boden praktisch nicht in Frage kommt.

[1]) Badisches Landw. Wochenblatt 1921, Nr. 52.

[2]) Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur 1915, Nr. 3.

[3]) Ebenba 1919, 37, 63.

[4]) Botanisches Zentralblatt 1907, S. 183.

[5]) Zeitschrift für Veterinärkunde 1905, S. 24 und Deutsche landwirtschaftliche Presse 1920, Nr. 103.

F. Pilz [1]) teilt folgende Düngungsversuche mit Torfmull mit: Auf 3 Versuchsfeldern, von denen das erste ungedüngt blieb, das zweite mit Stalldünger, das dritte mit Torfmull gedüngt wurden, wurden 3 Jahre Kartoffeln gebaut. Trotzdem durch die Torfmullgabe fast die gleiche Stickstoffmenge zugeführt wurde wie bei der Stallmistdüngung, blieb der Ertrag des mit Torfmull gedüngten Bodens doch sehr zurück, ja er erreichte im ersten Jahr nicht einmal den Ertrag des ungedüngten Bodens; im zweiten und dritten Jahr war der mit Torfmull gedüngte Boden etwas ertragreicher als der ungedüngte, stand aber dem mit Stallmist gedüngten Boden immer noch sehr weit nach. Der Stickstoff ist demnach im Torf in schwerlöslicher Form vorhanden; er bedarf erst noch einer längeren Einwirkung von Mikroorganismen, um in eine aufnahmefähige Form übergeführt zu werden. An sich enthält die Torfstreu etwas mehr Stickstoff (0,8—1,2 %), weniger Phosphorsäure (0,05—0,1 %) und weniger Kali (0,03—0,06 %) als Getreidestroh (mit 0,45—0,65 % Stickstoff, 0,16—0,35 % Phosphorsäure und 0,72—1,60 % Kali). Zieht man aber das große Absorptionsvermögen der Torfstreu für Ammoniak und Flüssigkeiten in Betracht, so muß die Torfstreu einen gehaltreicheren Dünger liefern, als alle anderen Streumittel, wenigstens was den Stickstoffgehalt anbelangt. Denn mit der besseren Bindung von Ammoniak ist natürlich eine Anreicherung von leichtlöslichem Stickstoff im werdenden Dünger verbunden. Berücksichtigt man ferner, daß der Harn der Tiere bei Torfstreuung im Dünger in höherem Maße festgehalten wird, während bei Strohstreuung der größte Teil in die Jauchegrube abläuft, daß weiter bei der Einstreu von 4 Teilen Stroh nur 3 Teile Torfstreu für dieselbe Zeitdauer eingestreut zu werden pflegen, so ist es selbstverständlich, daß der durch Torfstreu erhaltene Stalldünger [2]) prozentual mehr Pflanzennährstoffe und besonders mehr Stickstoff als der durch Einstreu von Stroh erhaltene Stalldünger [2]) enthalten muß, vorausgesetzt natürlich, daß die Düngersorten unter sonst gleichen Verhältnissen gewonnen sind. Fleischer [3]) untersuchte z. B. unter gleichen Bedingungen hergestellten Stroh- und Torfdünger und fand in:

1000 Teilen	Strohdünger	Torfdünger
Kali	2,93 Teile	2,91 Teile
Phosphorsäure . . .	1,42 „	1,43 „
Gesamtstickstoff . . .	2,72 „	3,36 „
Leichtlöslicher Stickstoff	0,08 „	0,37 „

Hierzu ist indes zu bemerken, daß bei dem Versuch die Jaucheabflußlöcher verstopft wurden und, um ein vollständiges Aufsaugen der Jauche zu bewirken, täglich eine entsprechende Menge Streu, nämlich für 1 Tier 4,6 kg Stroh und 3,5 kg Torfstreu zugegeben wurden. Grandeau [4]) fand bei vergleichenden Versuchen mit Stroh- und Torfdünger ähnliche Werte, nämlich in:

---

[1]) Zeitschrift für das landwirtschaftliche Versuchswesen in Österreich **21**, 315.

[2]) Ich will ihn fortan kurz Torfdünger bezw. Strohdünger nennen.

[3]) M. Fleischer, Die Torfstreu, ihre Herstellung u. Verwendung. Verlag Paul Parey, Berlin, 1890, S. 72.

[4]) La tourbe-litière: N. Bernard, Le Reveil Agricole, Marseille 1907.

1000 Teilen Dünger	Strohdünger	Torfdünger
Kali	6,30 Teile	8,50 Teile
Phosphorsäure . .	2,60 „	4,03 „
Stickstoff	5,00 „	7,54 „

Zudem ist die Überlegenheit des Torfstreudüngers durch einige Felddüngungsversuche festgestellt. So fand Tacke[1]) auf schweren Marschböden Mehrerträge durch Torfdünger gegenüber Strohdünger von 7 Ztr. Rüben, 2,15 Ztr. Hafer (Stroh und Korn), 6,1 Ztr. Kartoffeln, 0,6 Ztr. Weizen (Korn) und 4,5 Ztr. Roggen (Korn und Stroh) je Morgen. Schneidewind[2]) hat ähnliche Versuche mit Zuckerrüben und Sommerweizen als Nachfrucht angestellt und Mehrerträge durch Torfdünger gefunden: bei den Zuckerrüben 5,5 Ztr. je Morgen und beim Sommerweizen 1,07 Ztr. (Korn und Stroh).

Schließlich ist noch die gute Lagerungsfähigkeit des Torfstreudüngers als Vorteil gegenüber Strohdünger anzugeben. Die saure Beschaffenheit der Torfstreu unterbindet, wie schon gesagt, das Leben von Mikroorganismen, was bei der Lagerung ein großer Vorteil ist, im Boden dagegen zu einem großen Nachteil wird. Überhaupt stehen den Vorteilen bei der Torfstreuverwendung auch Nachteile gegenüber. So wird behauptet, daß die Torfstreu, wenn sie als Einstreu in die Schafställe verwendet wird, die Wolle verschmutzt, und daß auch Schweine sich bei Torfstreu weniger sauber halten als bei Strohstreu.[3]) Weiter wird gegen die Torfstreu geltend gemacht, daß sie nicht wie das Stroh im Stalldünger den Boden mechanisch zu lockern vermag, was besonders für die schweren Lehm- und Tonböden wichtig ist; für diese verdiene der Stroh-Stalldünger wegen der stärker lockernden Wirkung den Vorzug; ja es wird behauptet, daß in den dichteren Lehm- und Tonböden Fladen von Torfstreudünger im Boden lange Zeit unzersetzt bleiben, während er auf anderen Böden ebenso wie der Strohstalldünger in 3—6 Monaten zerfallen ist. Hierüber liegen indessen noch keine durch Versuche ermittelten Ergebnisse vor.

Ich habe mir daher auf Veranlassung von Herrn Geh. Reg.-Rat. Prof. Dr. J. König die Aufgabe gestellt, die Zersetzung des Stroh- und Torfstreudüngers und die Wirkung der Düngung auf das Pflanzenwachstum durch vergleichende Versuche auf verschiedenen Bodenarten in ähnlicher Weise zu ermitteln, wie dieses für Strohstalldünger von R. Balks[4]) und von M. Bach[5]) in

---

[1]) Flugblatt der D. L. G. Nr. 12.

[2]) Achter Bericht der Versuchsstation Lauchstedt 1918.

[3]) Das soll aber nur dann vorkommen, wenn eine unrichtige, zu feine Torfmasse für die Herstellung verwendet, oder der Torfmull von der faserigen Torfmasse nicht abgesiebt wurde. Unter Torfmull versteht man entweder das Absiebsel von der faserigen Torfstreu oder die aus dem faserigen Torf durch besondere Mühlen feingepulverte Masse; sie dient zur Aufsaugung von Jauche usw., auch von Melasse (Torfmelasse), als Konservierungs-, Verpackungs- und Isoliermittel.

[4]) Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1925, **103**, 221.

[5]) Ebenda 1926, **104**, 245.

der hiesigen Landwirtschaftlichen Versuchsstation bereits geschehen ist.

Zu dem Zwecke wurde die Fläche von 3,75 qm von 6 verschiedenen Bodenarten, die sich in Höhe von je 0,5 m auf einer 2 m hohen Sandschicht befinden, durch ein Brett in zwei gleiche Parzellen geteilt, und jede Parzelle gleichmäßig einerseits mit je 25 kg Stroh, andererseits mit je 25 kg Torfstreu-Stalldünger gedüngt. Der Dünger war kurz vorher hergestellt worden, und zwar der Strohdünger durch Vermischen von 100 Gewichtsteilen Kuhkot mit 10 Gewichtsteilen Stroh (als Häcksel) und der Torfstreudünger durch Vermischen von 100 Teilen Kuhkot mit 9 Teilen Torfstreu. Die beiden Düngersorten hatten fast die gleiche Zusammensetzung. (Vgl. Tabelle 1 im Anhang.) Nach dieser Tabelle wurden jeder Versuchshälfte an Düngstoffen zugeführt:

Düngersorte	Mineralstoffe kg	P_2O_5 g	K_2O g	CaO g	Stickstoff g	Ammoniakstickstoff g	Org. Substanz kg	Kohlenstoff g	Pentosane g	Methoxyl g
Strohdünger .	2,06	37,6	65,8	84,6	68,1	3,8	3,55	1787	940	100.5
Torfdünger . .	1,58	39,3	41,1	80,9	79,4	12,8	3,79	1835	534	76,5

Die Zahlen lassen erkennen, daß jede Parzelle fast gleiche Mengen der wichtigsten Düngerbestandteile, abgesehen von Kali und Pentosanen, erhalten hat. Der geringere Pensotangehalt im Torfdünger ist wohl dadurch zu erklären, daß der Torf als Zwischenprodukt der Umwandlung von Pflanzen in Kohle die sogenannte Vertorfung durchgemacht hat, bei der wahrscheinlich die Pentosane als die am leichtesten zersetzlichen Bestandteile der Zellmembran bereits einen Abbau erfahren haben.[1])

Um den Abbau der organischen Düngerbestandteile sowie des Gesamtstickstoffs vergleichend, einmal auf den mit Strohdünger, dann auf den mit Torfdünger gedüngten Parzellen zu verfolgen, wurden von den 12 Parzellen von Zeit zu Zeit Proben genommen und diese untersucht.

---

[1]) Vgl. R. Balks, Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1925, **103**, 228.

Probe 1 wurde am 3. Dezember 1926,
„ 2 „ „ 29. März 1927,
„ 3 „ „ 17. Juni 1927,
„ 4 „ „ 29. Oktober 1927,
„ 5 „ „ 20. Februar 1928 genommen.

Die Probenahme war bei der mit Torfdünger gedüngten Bodenreihe dadurch erschwert, daß sich in der ersten Zeit nach der Düngung in den Böden immer noch zahlreiche größere Torfstücke vorfanden. Deshalb wurden alle größeren Torfstücke mit der Hand zerfasert und gleichmäßig über die zugehörige Bodenfläche verteilt. Trotzdem haben sich bei der Untersuchung der mit Torfdünger gedüngten Böden Fehler herausgestellt, die wohl auf dieses Verhalten der Torfstreu zurückzuführen sind.[1])

Um die Wirkungsweise der beiden Düngersorten auf das Pflanzenwachstum festzustellen, wurde von Juni bis Oktober 1927 ein Vegetationsversuch mit Rüben angestellt. Demnach zerfällt die vorliegende Arbeit in zwei Teile:

I. Die Zersetzung von Stroh- und Torfstreudünger im Boden.
II. Die Wirkung von Stroh- und Torfstreudünger auf das Pflanzenwachstum.

I. Die Zersetzung von Stroh- und Torfstreudünger im Boden.

Die bisher erschienenen Arbeiten über die Bildung und Zersetzung der organischen Stoffe im Boden sind von R. Balks eingehend besprochen worden bis auf die neuen Arbeiten von S. A. Waksman, auf die ich noch zurückkommen werde. Für die Beurteilung des Grades der Zersetzung wurden von jeder entnommenen Probe folgende auch von R. Balks und M. Bach berücksichtigten Bestimmungen ausgeführt, nämlich die Bestimmung:

1. des Gesamtkohlenstoffs,
2. der Gesamtpentosane,
3. des Methoxyls bezw. des Lignins,
4. des Gesamtstickstoffs,
5. der leichtlöslichen Nährstoffe.

---

[1]) Vgl. auch hierzu M. Bach, Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1926, **104**, 248, wo die Schwierigkeiten der Probenahme ausführlich besprochen sind.

a) des leichtlöslichen Stickstoffs
   α) des in 1 prozent. Kaliumsulfatlösung gesamten löslichen Stickstoffs,
   β) des in 1 prozent. Kaliumsulfatlösung löslichen Ammoniakstickstoffs,
   γ) des Nitratstickstoffs.
b) der leichtlöslichen Phosphorsäure,
c) des leichtlöslichen Kalis
   α) nach dem Zitronensäureverfahren von König und Hasenbäumer und
   β) nach dem Keimverfahren von Neubauer.

Die durch die Düngung den Böden zugeführten Mengen organischer Stoffe, Stickstoff und sonstiger Nährstoffe habe ich dadurch berechnet, daß ich von den in 100 g Boden nach der Düngung enthaltenen Mengen die für die ungedüngten Böden gefundenen Zahlen in Abzug gebracht habe.[1]) Dabei führe ich der besseren Übersicht halber hier nur die Mittelwerte aus den einzelnen Bestimmungen für die sechs Bodentypen auf. Die Werte für jede einzelne Bodenart finden sich als analytische Belege im Anhang. Um die Unterschiede noch deutlicher hervortreten zu lassen, habe ich die jeweils zugeführte Menge gleich 100 gesetzt und die Werte aus den nachfolgenden Proben darauf bezogen. Außerdem habe ich noch zum Vergleich die von R. Balks und M. Bach ermittelten Werte für die Zersetzung des Strohdüngers mit herangezogen.

1. Gesamtkohlenstoff.

Vor der Düngung war im Mittel der 6 Bodenarten der Gehalt von 100 g Boden an Gesamtkohlenstoff 1698 mg, nach der Düngung 2151 mg in der Strohdüngerreihe und 2292 mg in der Torfdüngerreihe; mithin waren 100 g Boden 453 mg bezw. 594 mg Kohlenstoff zugeführt. Diese Menge des durch die Düngung zugeführten Gesamtkohlenstoffs hat von Dezember 1926 bis Februar 1928 folgende Änderungen erfahren:

[1]) Wie R. Balks und M. Bach bei ihren Versuchen, so habe auch ich hier angenommen, daß die vor der Düngung im Boden vorhandenen Mengen organischer Stoffe und Nährstoffe während der Versuchszeit keine wesentliche Veränderung bezw. Abnahme erfahren haben.

Zeit der Probenahme	Gehalt von 100 g Boden an zugeführten absolut. Mengen Kohlenstoff		In Prozenten der zugeführten Mengen noch vorhanden		Zeit der Probenahme	Nach früheren Versuchen berechneten sich die Prozentzahlen der zugeführten Mengen
	Strohdüngerreihe	Torfdüngerreihe	Strohdüngerreihe	Torfdüngerreihe		Die Böden waren nur mit Strohdünger gedüngt worden
	mg	mg	%	%		%
3. Dez. 26 (25 Tage nach der Düngung)	453	594	100	100	21. Jan. 24 (110 Tage nach der 1., 41 Tage nach d. 2. Düngung)	100
29. März 27	343	462	75,7	77,8	7. April 24	82,9
17. Juni 27	169	311	37,3	52,4	2. Juni 24	64,8
29. Okt. 27	121	262	26,7	44,1	3. Nov. 24	21,7
20. Febr. 28	88	182	19,4	30,6	23. Juli 25	18,9

Hier tritt die in der Praxis gemachte Beobachtung, daß der Torfdünger sich im Gegensatz zum Strohdünger langsamer zersetzt, deutlich in die Erscheinung. Ende Oktober hat die Zersetzung des Kohlenstoffs in der Torfdüngerreihe im Mittel noch nicht den Stand vom Juni bei der Strohdüngerreihe erreicht. Von Oktober ab erfährt der Gesamtkohlenstoff in der Strohdüngerreihe nur noch eine geringe Abnahme, scheinbar ist hier aller leichtzersetzliche Kohlenstoff verschwunden und ein Beharrungszustand eingetreten; in der Torfdüngerreihe dagegen macht die Abnahme während der Monate Oktober bis Februar weitere Fortschritte, bis auch hier ein ähnlicher Beharrungswert erreicht ist.

a) Einfluß der Bodenart auf die Zersetzung.

Das Bild der Zersetzung des Gesamtkohlenstoffs, das sich aus den Mittelwerten ergibt, trifft aber für die einzelnen Bodenarten nicht zu. Um eine Vorstellung für die Zersetzung des Kohlenstoffs in jeder Bodenart zu gewinnen, habe ich daher die Prozentzahlen der zugeführten Mengen Kohlenstoff für jede einzelne Bodenart berechnet und gefunden, daß in Prozenten der zugeführten Mengen noch vorhanden waren:

A. Auf der mit Strohdünger gedüngten Bodenreihe.

	Sand-Boden	Lehmiger Sand	Lehm-boden	Kalk-boden	Ton-boden	Lenne-schiefer-boden
3. Dez. 1926 . .	100	100	100	100	100	100
29. März 1927 .	78,5	65,1	82,7	67,6	76,9	82,1
17. Juni 1927 .	61,1	34,5	58,9	43,2	15,5	20,8
29. Okt. 1927 .	60,2	27,0	41,3	13,9	18,5	4,5
20. Febr. 1928 .	58,6	16,3	26,0	9,4	4,3	8,4

B. Auf der mit Torfdünger gedüngten Bodenreihe.

3. Dez. 1926 . .	100	100	100	100	100	100
29. März 1927 .	—[1])	97,6	74,4	82,6	100	76,5
17. Juni 1927 .	42,3	33,3	65,0	62,0	100	39,9
29. Okt. 1927 .	37,2	27,9	51,0	42,2	100	27,0
20. Febr. 1928 .	35,7	29,1	49,0	9,7	55,3	22,0

1. Auf dem Sandboden ist im Gegensatz zu den anderen Böden die Zersetzung des Gesamtkohlenstoffs in der Torfdüngerreihe schneller verlaufen als in der Strohdüngerreihe. Nach den ersten 6—7 Monaten ist in beiden Fällen ein gewisser Beharrungszustand eingetreten.

2. Auf dem lehmigen Sandboden verläuft die Zersetzung in der Stroh- und Torfdüngerreihe nahezu gleich und erreicht nach den ersten 6—7 Monaten einen Beharrungszustand.

3. Der Lehmboden weist im ersten halben Jahr nach der Düngung eine schnellere Zersetzung in der Torfdüngerreihe auf, die von da an aber gegen die Strohdüngerreihe zurückbleibt.

4. Beim Kalkboden, der von allen Böden am reichsten an Humus ist, hat der Gesamtkohlenstoff, ähnlich wie beim lehmigen Sandboden, in der Stroh- wie Torfdüngerreihe eine regelmäßige und rasche Zersetzung erfahren, während R. Balks, M. Bach und andere Versuchsansteller gefunden haben, daß der Strohdünger auf Kalkboden weniger rasch zersetzt wird, als auf anderen Bodenarten. Wenn das (vgl. R. Balks l. c.) darauf zurückgeführt worden ist, daß der Kalkboden entweder die Humussäuren fest bindet oder die organischen Stoffe wegen seiner fein-

[1]) Wegen unrichtiger Probenahme unsicher und deshalb nicht aufgeführt.

stäubigen Beschaffenheit fest einhüllt und in beiden Fälllen vor Zersetzung schütze, so muß hier in diesem Versuch eine dieser Eigenschaften gefehlt haben.

5. Das eigenartigste Verhalten in der Zersetzung der beiden Düngersorten zeigt der Tonboden. Auf diesem hat der Strohdünger eine regelmäßige und so schnelle Abnahme von Gesamtkohlenstoff erfahren, wie auf keinem der anderen Böden. Dagegen hat sich auf der Torfdüngerhälfte der Kohlenstoff in den ersten 11 Monaten auf fast gleicher Höhe gehalten, und erst in den folgenden 3 Monaten (29. Oktober 1927 bis 20. Februar 1928) ist eine plötzliche und starke Zersetzung eingetreten. Das kann wohl nur darin seinen Grund haben, daß der feine Ton die Teile des Torfdüngers fest eingeschlossen und vor Luftzutritt und Oxydation geschützt hat, daß dagegen bei dem faserigen Strohdünger eine solche Wirkung nicht vorhanden war.

6. Bei dem tonreichen Lenneschieferboden sehen wir ähnliche Ergebnisse wie bei dem Tonboden; auf ihm ist der Strohdünger in gleicher Weise schneller zersetzt worden als auf den ersten 4 Böden; auch der Gesamtkohlenstoff des Torfdüngers zeigt — wahrscheinlich infolge der durch die Steinchen bewirkten größeren Lockerung — eine regelmäßige Abnahme, aber diese ist bedeutend geringer als bei der Strohdüngerreihe.

Man kann also aus diesem verschiedenen Verhalten der Bodenarten schließen, daß der Stroh- und Torfdünger auf leichten und lockeren Böden eine gleiche und regelmäßige Zersetzung erfahren, daß aber auf schweren tonreichen Böden die Zersetzung des Torfdüngers gegen die des Strohdüngers zurückbleibt und zwar um so mehr, je tonreicher sie sind; und das stimmt auch meines Wissens mit den praktischen Erfahrungen überein.

b) Einfluß der Jahreszeit auf die Zersetzung.

Um den Einfluß der Jahreszeit zu ermitteln, habe ich in der Art, wie M. Bach es getan hat, für die einzelnen Zeitabschnitte die in einem Tage zersetzte Menge Gesamtkohlenstoff errechnet. Es ergeben sich folgende Beziehungen: M. Bach hat gefunden, daß im Mittel derselben sechs Bodenarten die Abnahme an Kohlenstoff für 1 kg Boden betrug:

	Abnahme		
	in Tagen	im ganzen	für den Tag
vom 21. Januar 24 bis 7. April 24 .	76	680 mg	9,0 mg
„ 7. April 24 „ 2. Juni 24 .	57	897 „	15,8 „
„ 2. Juni 24 „ 3. Nov. 24 .	153	1495 „	9,8 „

Nach meinen Untersuchungen war die Abnahme:

	Tage	Abnahme			
		auf der Strohdüngerreihe		auf der Torfdüngerreihe	
		im ganzen	für den Tag	im ganzen	für den Tag
vom 3. Dez. 26 bis 29. März 27 . .	116	1100 mg	9,5 mg	1320 mg	11,4 mg
„ 29. März 27 „ 17. Juni 27 . .	80	1740 „	21,7 „	1510 „	18,9 „
„ 17. Juni 27 „ 29. Okt. 27 . .	134	480 „	3,6 „	490 „	3,7 „
„ 29. Okt. 27 „ 20. Febr. 28 . .	114	330 „	2,9 „	800 „	7,0 „

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von M. Bach ergibt sich hieraus, daß die Oxydation des Kohlenstoffs in der warmen Jahreszeit von Ende März bis Juni am schnellsten verläuft. Die Sonderstellung der Zersetzung in der Torfdüngerreihe während der Monate Oktober bis Februar ist, wie schon auf S. 6 erwähnt, darauf zurückzuführen, daß die Zersetzung der zugeführten Menge Kohlenstoff in der Strohdüngerreihe im Juni schon fast beendet ist, während sie in der Torfdüngerreihe noch weiter geht.

2. Gesamtpentosane.

Der Gehalt von 100 g Boden an Pentosanen war vor der Düngung im Mittel 150 mg, nach der Düngung 350 mg in der Strohdüngerreihe, 299 mg in der Torfdüngerreihe (vgl. Tabelle 2), mithin waren 200 mg bezw. 149 mg Pentosane zugeführt; die absolute und prozentuale Abnahme der zugeführten Pentosane stellte sich wie folgt:

Zeit der Probenahme	Gehalt von 100 g Boden an zugeführten absoluten Mengen Pentosane		In Prozenten der zugeführten Mengen noch vorhanden		Zeit der Probenahme	Nach früheren Versuchen berechneten sich folg. Prozentzahlen der zugeführten Mengen
	Strohdüngerreihe mg	Torfdüngerreihe mg	Strohdüngerreihe %	Torfdüngerreihe %		Die Böden waren nur mit Strohdünger gedüngt %
3. Dez. 26 (25 Tage nach der Düngung)	200	149	100	100	21. Jan. 24 (110 Tage nach d. 1., 41 Tage nach d. 2 Düngung)	100
29. März 27	132	123	66,0	82,6	7. April 24	71,5
17. Juni 27	64	73	32,0	49,0	2. Juni 24	15,0
29. Okt. 27	25	50	12,5	33,6	3. Nov. 24	— 10,1
20. Febr. 28	7	25	3,5	16,8	23. Juli 25	— 16,4

Wie zu erwarten,[1]) war der Pentosangehalt bei den Parzellen, die mit Strohdünger gedüngt waren, anfänglich höher als auf den Vergleichsparzellen. Aber infolge der erheblich rascheren Zersetzung in der Strohdüngerreihe hatten schon nach 4 Monaten (29. März) die Stroh- und die Torfdüngerreihe fast den gleichen Pentosangehalt. Die Ergebnisse (Tabelle 2) im Anhang zeigen, daß die Abnahme der Pentosane nicht so sehr von der Art des Bodens abhängt wie die des Kohlenstoffs, so daß die Mittelwerte auch die Verhältnisse für jede einzelne Bodenart annähernd treffen. Am deutlichsten offenbaren natürlich die Prozentzahlen der von den zugeführten noch vorhandenen Mengen die verschiedene Abnahme der Pentosane auf den beiden verschieden gedüngten Parzellen. Die Zersetzung der Pentosane in der Strohdüngerreihe ist sehr regelmäßig und so rasch vonstatten gegangen, daß nach fast einem Jahre nach der Düngung bereits $^7/_8$ der zugeführten Menge Pentosane, also praktisch die ganze Menge, zersetzt war; dagegen haben sich bis zur selben Zeit auf den Vergleichsparzellen mit Torfdünger nur zu $^2/_3$ zersetzt. Wie beim Kohlenstoff ist auch die Abnahme der Pentosane auf den mit Strohdünger gedüngten

[1]) Vgl. S. 6.

Parzellen im Oktober zu einem gewissen Stillstand gekommen, während in der Torfdüngerreihe die Zersetzung der Pentosane weitere Fortschritte machte.

3. Methoxyl.

Um das Verhalten des Lignins im Boden zu verfolgen, habe ich wie üblich die Methoxylzahlen, die einen direkten quantitativen Anhalt für den Ligningehalt geben, festgestellt. Zwecks Hervorhebung der Unterschiede auf den beiden verschieden gedüngten Parzellen habe ich die Prozentzahlen der nach der Düngung im Boden vorhandenen Mengen mit aufgeführt.

Es waren in 100 g Boden folgende Mengen Methoxyl im Mittel der fünf Bodenarten[1]) vorhanden:

Zeit der Probenahme	Absolute Mengen Methoxyl in 100 g Boden vorhanden		In Prozenten der am 3. Dez. 1926 vorhandenen Mengen Methoxyl noch vorhanden		Zeit der Probenahme	Nach früheren Versuchen im Mittel v. 3 Bodenarten ergaben sich folg. Prozentzahlen der nach der Düngung im Boden vorhandenen Mengen Methoxyl
	Strohdüngerreihe mg	Torfdüngerreihe mg	Strohdüngerreihe %	Torfdüngerreihe %		Die Böden waren nur mit Strohdünger gedüngt %
3. Dez. 26 25 Tage nach der Düngung	71,4	62,0	100	100	21. Jan. 24 (110 Tage nach d. 1., 41 Tage nach d. 2. Düngung)	100
29. März 27	66,6	57.7	93,3	93,1	7. April 24	83,0
17. Juni 27	55,9	52,2	78,3	84,2	2. Juni 24	66,0
29. Okt. 27	46,5	40,1	65,1	64,7		
20. Febr. 28	51,7	48,2	72,4	77,7	23. Juli 25	63,3

Balks, Waksman u. a. haben gefunden, daß das Lignin, aus dem sich das Methoxyl abspaltet, nur in der ersten Zeit der Zersetzung und dann auch nur sehr wenig angegriffen wird und daher im Vergleich zum Kohlenstoff allmählich eine Anreicherung im Boden erfährt. Nach meinen Untersuchungen ergeben sich

[1]) Beim Kalkboden konnte die Bestimmung des hohen Kalziumkarbonatgehaltes wegen nicht ausgeführt werden.

ähnliche Beziehungen. Die geringen absoluten Mengen an Methoxyl und die Schwierigkeit der Bestimmung lassen allerdings die Ergebnisse als unsicher und zweifelhaft erscheinen; aber weil die Ergebnisse in drei Versuchen in derselben Richtung liegen, dürfte die Schlußfolgerung doch berechtigt erscheinen, daß die kohlenstoffreicheren Bestandteile der Zellmembran, die Lignine, im Humus des Bodens, wie im Kot bei der Verdauung sich ansammeln und dem Humus einen höheren Kohlenstoffgehalt, nämlich 57—60% erteilen, während der Kohlenstoffgehalt der organischen Stoffe des Stalldüngers nur 47—51% zu betragen pflegt. Der Methoxylgehalt der Proben vom 29. Oktober 1927 ist auffallend niedrig; niedriger als der Methoxylgehalt der Proben vom 20. Februar 1928. Einen Grund für dieses sonderbare Verhalten habe ich nicht feststellen können.

In letzter Zeit hat sich besonders S. A. Waksman mit der Zersetzung der organischen Bodenmaterie beschäftigt; er hat erstmalig zur Klärung der Frage hauptsächlich biologische Untersuchungsverfahren angewandt. Die Untersuchungen mögen, da ihre Ergebnisse mit denen der bisherigen Forschungen über die organische Bodensubstanz manche Übereinstimmung aufweisen, hier angeschlossen werden. In einer mit Heukelekian[1]) durchgeführten Untersuchung kommt Waksmann zu dem Ergebnis, daß die Zellulosezersetzung durch verschiedene Gruppen von Bodenmikroorganismen bewirkt wird, nämlich durch Bakterien, Pilze und Aktinomyzeten. Die Verff. hatten unter Verwendung von Reinkulturen diesen Vorgang in Lösungen, Boden und Sand verfolgt und für die einzelnen Organismen gefunden:

	Brutdauer	Zersetzte Zellulose %
Trichoderma 7	21 Tage	46,8
Trichoderma 7	42 „	95,0
Fusarium 115	21 „	36,8
Penicillium sp.	21 „	8,5
Zygorhynchus Mölleri . .	21 „	0
Actinomyces 366	42 „	6,8
Bacterium fimi	52 „	29,0

[1]) S. A. Waksman und H. Heukelekian, Cellulose-decomposition by various groups of soil-mikroorganismus. Proc. IV. Intern. Soil Sci. Conf., III. Com. Rome. 1926.

Die Pilze Trichoderma, Fusaria, Cerphalosporia, Vertilicia und gewisse Penicillien zersetzen am kräftigsten von allen Bodenorganismen Zellulose, wenn genügend löslicher Stickstoff zugegen ist. Wenn die Bedingungen für Pilzentwicklung nicht günstig sind, wie im neutralen oder stark gekälkten Boden, bei Abwesenheit von löslichem Stickstoff oder bei teilweiser Sterilisation, spielen Actinomyceten und Bakterien die wichtigste Rolle bei der Zellulosezersetzung. Die Entwicklung der Pilze im Boden,[1]) wird durch die Anwendung physiologisch saurer Dünger begünstigt. Bei sauren Böden bewirken Kalk und physiologisch alkalischer Dünger eine Verringerung in der Zahl der Bodenpilze.

Eine andere Arbeit behandelt die Kohlenstoff- und Stickstoffumwandlungen[2]) bei der Zellulosezersetzung. Sie wurden an zwei typischen Bodenpilzen Trichoderma und Penicillium geprüft. Es hat sich gezeigt, daß die Zellulose von diesen Organismen vollkommen zersetzt wird, wobei als einziges flüchtiges Nebenprodukt CO_2 auftritt. Ein beträchtlicher Teil des Zellulosekohlenstoffs wird von den Organismen wieder assimiliert und in Protoplasma übergeführt. Diese Ergebnisse sind auf zwei verschiedenen Wegen erhalten worden. Es konnte mit Sicherheit nachgewiesen werden, daß der als CO_2 entwickelte und der von den Pilzen assimilierte Kohlenstoff in ihrer Summe ungefähr dem Gesamtkohlenstoff der zersetzten Zellulose entsprachen. Die Unterschiede waren gering und lagen innerhalb der Versuchsfehler.

Der Kohlenstoff und der von den Organismen assimilierte Stickstoff standen in einem festen Verhältnis zueinander. Die Organismen ziehen NH_3 der Salpetersäure als Stickstoffquelle vor. Der Stickstoff wird assimiliert und in Eiweiß übergeführt. So hat sich eine direkte Beziehung ergeben zwischen dem Betrag an zersetzter Zellulose und der in unlösliche organische Form übergeführten Stickstoffmenge. Weitere in Gemeinschaft mit Skinner[3]) angestellte Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß unter aeroben Bedingungen und in feuchten Böden besonders Pilze an der Zersetzung der Zellulose beteiligt sind. In trockenen und alkalischen Böden scheinen aerobe Bakterien

[1]) Ecology, Vol. V, Nr. 1, 1924.
[2]) The Journal of Biological Chemistry 1925, **66**, 323.
[3]) Journal of Bakteriology 1926, **12** Nr. 1.

die wichtigste Rolle zu spielen. Unter anaeroben Verhältnissen sind nur Bakterien an der Zersetzung der Zellulose beteiligt, und zwar gilt das nicht nur bei Böden, sondern wahrscheinlich auch von der Zersetzung der Zellulose bei allen natürlichen Vorgängen. In einer weiteren Arbeit[1]) über die Cellulose als Quelle des Humus im Erdboden vertritt S. A. Waksman die Ansicht, daß nicht nur das Lignin, sondern auch die Zellulose eine wesentliche Rolle bei der Humusbildung mitspielt. Nach seinen Versuchen ist die Zersetzung der Zellulose stets von der synthetischen Bildung von „Zellsubstanz" (mikrobielles Protoplasma) begleitet. Die Migroorganismen benutzen die Zellulose als Energiequelle, um die neue Zellsubstanz aufzubauen, die neben den unzersetzbaren Pflanzenteilen, Lignin und Cutin, einen Hauptbestandteil des Humus ist. Der von den Organismen zum Leben gebrauchte Stickstoff findet sich in der „Zellsubstanz" organisch gebunden wieder.

Vier Organismen-Gruppen sind je nach den Bedingungen hauptsächlich an der Zersetzung der Zellulose beteiligt: in sauren Böden Pilze (vor allem Ascomyceten, Basidiomyceten und Fungi-imperfecti); in neutralen und alkalischen Spirillen, Spirochaeten, Vibrionen; unter aeroben Bedingungen sind besonders Ascomyceten aktiv, in sumpfigen Böden anaerobe Bakterien. Von[2]) den Bestandteilen der Strohes widersteht das Lignin am längsten der Einwirkung von Bakterien und Pilzen. Ligninanhäufung führt zur Humusbildung (vgl. S. 14), nachgewiesen dadurch, daß alkalische Bodenauszüge stark ligninhaltig sind. Über die Frage: „Was ist Humus?"[3]) äußert sich S. A. Waksman wie folgt:

Unter den verschiedenen Theorien, die die Entstehung des Bodenhumus zu erklären versuchen, scheint die von Fr. Fischer und Schrader am meisten beachtenswert. Diese Theorie, die zur Erklärung der Bildungsvorgänge von Torf und Kohle ausreichen mag, trifft indes für die Verhältnisse bei der Entstehung des Bodenhumus nicht in vollem Umfange zu; denn 1. erklärt sie nicht das Vorkommen von N im Bodenhumus, 2. berücksichtigt sie nicht die Tatsache, daß in normalen Böden das Verhältnis von C:N

[1]) „Zellulosechemie", 8, Heft 9/10, 4. September 1927.
[2]) Soil Scienee 1926, **22**, 323.
[3]) Proc. of the nat. acad. of sciences (U. S. A.) 1925, **11**, 463.

immer konstant, nämlich wie 10 : 1 ist.[1]) Die Theorie erklärt fernerhin nicht, daß gerade der eigentliche „Humus" allmählich zersetzt wird, was man leicht zeigen kann, wenn der Boden unter günstigen Bedingungen gehalten wird ohne Zufuhr von frischer organischer Substanz. Waksman hat nun den Anteil des Humus untersucht, der beim Behandeln des Bodens mit Natronlauge in Lösung geht und durch Säuren nicht wieder ausgefällt wird. Dieser Auszug enthält den wasserlöslichen Teil der organischen Substanz und den, der durch die hydrolysierende Wirkung der Natronlauge in Lösung gebracht wird. Wenn der alkalische Extrakt normaler Mineralböden sorgfältig mit Salzsäure neutralisiert wird, entsteht ein schwerer Niederschlag, von dem ein Teil wieder in Lösung geht, wenn ein Überschuß der Säure hinzugefügt wird. Die beiden Fraktionen, die aus den alkalilöslichen Humusbestandteilen gewonnen werden können, sind: Fraktion a) löslich in verdünnten Alkalien und unslöslich in verdünnten Säuren; Fraktion b) löslich in verdünnten Alkalien und verdünnten Säuren, aber ausfällbar bei einem isoelektrischen Punkt, der etwa bei pH 4,9 liegt.

Beide Fraktionen spielen wahrscheinlich im Boden verschiedene Rollen. Die a-Fraktion oder „Humussäure", die dem Boden die schwarze Farbe gibt, verdankt den Ligninen der natürlichen organischen Substanz und den Zellen der Mikroorganismen ihre Entstehung. Sie enthält große Mengen Stickstoff. Die b-Fraktion verleiht dem Boden seine Puffer-Eigenschaften. Sie erklärt in weitem Umfange die Eigenschaften, welche gewöhnlich den unbestimmten „organischen Bodenkolloiden" zugeschrieben werden, sie vereinigt sich mit zugesetzten Säuren und

---

[1]) Bei meinen Versuchen ergab sich ein ähnliches Verhältnis; nur war infolge der geringeren Kohlenstoffzersetzung in der Torfdüngerreihe hier das Verhältnis etwas zugunsten des Kohlenstoffs verschoben.

Verhältnis Stickstoff : Kohlenstoff (Stickstoff = 1)

Zeit der Probenahme	in der Strohdüngerreihe	in der Torfdüngerreihe
3. Dezember 1926	1 : 10,5	1 : 11,3
29. März 1927	1 : 11,9	1 : 12,4
17. Juni 1927	1 : 11,2	1 : 12,1
29. Oktober 1927	1 : 11,6	1 : 12.8
20. Februar 1928	1 : 11,8	1 : 12,5

Alkalien und verhindert im Boden, daß diese dem Pflanzenwachstum schädlich werden können. (Pufferwirkung). Verf. hat nun bei 4 verschiedenen Böden diese beiden Fraktionen bestimmt:

	Ges.-N	Gesamtmengen in 100 g Boden mg	a-Fraktion N %	a-Fraktion Asche %	Gesamtmengen in 100 g Boden mg	b-Fraktion N %	b-Fraktion Asche %
Jedes Jahr gedüngt, ohne Kalk	0,134	725	3,34	1,2	1,717	1,34	47,1
Ungedüngt, ohne Kalk .	0,074	368	3,57	1,1	1,841	1,00	48,5
Gedüngt und gekälkt. .	0,128	631	3,20	1,4	1,820	—	44,9
Florida Moorboden . .	—	31,500	3,95	1,4	Spur	—	—

Die a-Fraktion stellt einen Teil der organischen Substanz dar, die sich im Boden ansammelt (Wurzelreste, Stalldünger, Gründung). Der Ursprung der b-Fraktion ist noch unbekannt. Die Tatsache, daß Moorböden viel a-Fraktion enthalten, die Mineralböden außerdem die b-Fraktion, oft sogar in beträchtlicher Menge, deutet auf bestimmte Verschiedenheiten in der Natur der organischen Substanz in Moor- und Mineralböden, was von den meisten Autoren bisher übersehen wurde.

In letzter Zeit ist noch eine Arbeit von Waksman erschienen[1]), in der er die Ergebnisse seiner Untersuchungen zusammenfaßt. Eingangs weist er darauf hin, daß die Frage nach dem Ursprung des organischen Bodenbestandteils schon eine verschiedene Beantwortung erhalten hat. Einige Forscher halten die organische Bodensubstanz (Humus) für ein Zwischenprodukt bei dem Abbau der organischen Düngerbestandteile zu CO_2, HN_3 und H_2O, andere für eine Mischung von Teilen der organischen Substanz, die der Zersetzung widerstehen: Verf. schlägt eine dritte noch hypothetische Erklärung vor. Humus ist eine durch die Organismentätigkeit aus dem zugeführten Dünger neugebildete Zellsubstanz, die je nach der Art der Mikroflora eine verschiedene Zusammensetzung hat. Der zugeführte Dünger spielt die Rolle eines Nährbodens für die Organismen.

[1]) „Die Naturwissenschaften“ 1927, **34**, 689.

Verf. hat die Hauptbestandteile der pflanzlichen Stoffe, die durch eine Düngung dem Boden zugeführt werden, auf ihre Zersetzbarkeit und die an der Zersetzung beteiligten Organismenarten untersucht und ist zu folgenden Ergebnissen gekommen:

1. Die wasserlöslichen Bestandteile (Zucker, Aminosäuren usw.) werden schnell zersetzt, und zwar von gewissen schnellwachsenden Pilzen. Je älter eine Pflanze ist, desto geringer ihr Gehalt an diesen Teilen.

2. Hemizellulosen (Pentosane usw.) stehen in der Zersetzungsgeschwindigkeit zwischen den wasserlöslichen Teilen und der Zellulose. Die Anzahl der Organismenarten ist sehr groß.

3. Zellulosen. Die größte Einzelgruppe pflanzlicher Teile. Das Getreidestroh enthält bis zu 40 %. Die Zellulosezersetzer gebrauchen Stickstoff und Phosphor; demnach ist der Stickstoff- und Phosphorgehalt ein wichtiger Faktor für die Zersetzung der Zellulose, Pilze, einige aerobe und anaerobe Bakterien, Actinomyceten u. a.

4. Proteine und andere stickstoffhaltige Verbindungen:

Die Proteine liefern den Stickstoff, den gewisse Mikroorganismen zum Leben benötigen; in dem neugebildeten Protoplasma findet sich dieser Stickstoff wieder.

5. Lignine. Sie werden nur schwer angegriffen. Eine bestimmte Organismenart, die Lignine abbaut, konnte nicht gefunden werden.

6. Fette, Wachse, Resine und Tannine. Die Verhältnisse liegen hier wie bei den Ligninen.

Nach 3 und 4 muß dem Stickstoff eine größere Bedeutung zugemessen werden. Im Boden liegt der Fall so: Die wasserlöslichen Teile werden zuerst zersetzt: die beteiligten Organismen holen sich den Stickstoff — wenn im Boden nicht verfügbar — aus der Luft. Dann folgt der Abbau von Proteinen, Hemizellulosen, Zellulosen und aller anderen Kohlehydrate. Zum Abbau benötigen die Organismen für 30 Teile 1 Teil verfügbaren Stickstoff. Da dieser Stickstoff erst durch vorangegangene Organismentätigkeit frei wird, geht der Prozeß nur langsam vorwärts. Zugleich wird neue Zellsubstanz synthetisiert.

Die Entstehung der neuen Zellsubstanz ist unabhängig von der Natur des Erdbodens; es gibt ein bestimmtes Verhältnis

zwischen dem Abbau der zersetzbaren Teile und der Synthese des Protoplasmas.

Wenn keine Zellulose mehr vorhanden ist, findet auch ein Abbau der Zellsubstanz statt; der Stickstoff wird als NH_3 frei.

4. Gesamtstickstoff.

Vor der Düngung enthielten 100 g Boden im Mittel der sechs Bodenarten 160 mg Gesamtstickstoff, nach der Düngung 203,2 mg in der Strohdüngerreihe und 202,7 mg in der Torfdüngerreihe. Die Abnahme der zugeführten Menge Gesamtstickstoff, 43,2 mg bezw. 42,7 mg, stellte sich bei der Zersetzung des Stroh- und Torfdüngers im Boden wie folgt: (Vgl. auch Tabelle 3 im Anhang.)

Zeit der Probenahme	Gehalt von 100 g Boden an zugeführten absoluten Mengen Stickstoff		In Prozenten der zugeführten Mengen noch vorhanden		Zeit der Probenahme	Nach früheren Versuchen berechneten sich folgende Prozentzahlen der zugeführten Mengen
	Strohdüngerreihe mg	Torfdüngerreihe mg	Strohdüngerreihe %	Torfdüngerreihe %		Die Böden waren nur mit Strohdünger gedüngt %
3. Dez. 26 (25 Tage nach der Düngung)	43,2	42.7	100	100	21. Januar 24 (110 Tage nach der 1., 41 Tage nach d. 2. Düngung)	100
29. März 27	11,6	14,9	26,9	34,9	7. April 24	30,0
17. Juni 27	6,7	6,0	15,5	14,1	2. Juni 24	35,0
29. Okt. 27	— 2,7	— 7,1	(— 6,3)	(— 16,6)	3 .Nov. 24	0
20. Febr. 28	— 8,5	— 8.5	(— 19,7)	(— 19,9)	23. Juli 25	(— 15,0)

Durch vorstehende Ergebnisse wird die von R. Balks u. a. gemachte Beobachtung bestätigt, daß der Gesamtstickstoff in der ersten Zeit nach Unterbringung des Düngers außerordentlich schnell abnimmt, dann aber allmählich in einen Beharrungszustand gelangt, der — natürlich nur bei Brachliegen des Bodens — mehr oder weniger lange bestehen bleiben kann. Die Bindung des Stickstoffs in der Torfdüngerreihe ist zunächst etwas fester;

hier sind im März noch 35 % geblieben, während in der mit Strohdüngerreihe nur noch 27 % der zugeführten Menge Stickstoff vorhanden ist. Im Juni hat die Abnahme bei beiden Parzellen denselben Stand erreicht. Die stärkere Abnahme in der Torfdüngerreihe während der Monate Juni-Oktober ist auf eine höhere Inanspruchnahme von Stickstoff durch die Rüben, die auf diesen Parzellen ein viel stärkeres Wachstum aufwiesen, zurückzuführen. Im allgemeinen geht aus diesen Ergebnissen hervor, daß sich der Gesamtstickstoff, der durch eine Stalldüngergabe dem Boden zugeführt ist, beim Abbau nahezu gleich verhält und durch Auswaschungs- und Denitrifikationsvorgänge gleiche Verluste erleiden kann, einerlei ob der Träger des Düngers Torfstreu oder Getreidestroh ist. Wie groß diese Verluste an Stickstoff sind, kann man an folgender Berechnung erkennen. Nach Tabelle 3 (Anhang) hat in der Torfdüngerreihe der Gesamtstickstoff bis zur Bepflanzung im Mittel der sechs Bodenarten um 36,6 mg für 100 g Boden abgenommen, während nur noch 6,7 mg von der zugeführten Menge (43,2 mg) verblieben. Diese 36,5 mg bedeuten — nimmt man ein Bodengewicht von 1,375 kg für 1 l Boden an und rechnet mit einer Schichthöhe von 20 cm — einen Stickstoffverlust von 1004 kg für 1 ha. In der Torfdüngerreihe mit 36,7 mg Verlust berechnet sich ein gleich hoher Verlust für 1 ha. So auffallend stark die Abnahme des Stickstoffs gegenüber der Abnahme der anderen Pflanzennährstoffe und der organischen Stoffe ist, so ist sie doch eine ganz normale Erscheinung.[1])

5. Das Verhalten der leichtlöslichen Nährstoffe im Boden.

Nach den Ergebnissen der Düngeruntersuchung[2]) wurden jeder Parzelle (1,875 qm) folgende Mengen Stickstoff, Phosphorsäure und Kali zugeführt:

	Gesamtstickstoff	Stickstoff als Ammoniakstickstoff	Phosphorsäure	Kali
	g	g	g	g
Durch den Strohdüuger . .	68,1	3,8	37,6	65,8
Durch den Torfdünger . . .	79,4	12,8	39,3	41,1

[1]) Vgl. M. Bach, Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen 1926, **104**, 260.
[2]) Vgl. S. 6.

Um den Einfluß der Dünger auf den Gehalt der Böden an leichtlöslichem Stickstoff festzustellen, wurde zunächst der Gehalt der Böden an gesamtem leichtlöslichem Stickstoff (mit 1prozent. Kaliumsulfatlösung), dann an den Hauptformen, Ammoniak- und Nitratstickstoff, bestimmt. Die Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure wurde nach dem üblichen Verfahren von König und Hasenbäumer, die des leichtlöslichen Kalis einmal nach demselben Verfahren und dann nach dem Keimverfahren von Neubauer ausgeführt.

a) Leichtlöslicher Stickstoff.

α) in 1 prozent. Kaliumsulfatlösung löslicher Stickstoff.

Zur Bestimmung des gesamten leichtlöslichen Stickstoffs, einschl. des Nitratstickstoffs, habe ich das Jodlbauersche Verfahren in der von J. Hasenbäumer und H. Lohmann vorgeschlagenen Ausführung[1]) angewendet. Die Ergebnisse waren im Mittel der sechs Bodenarten folgende:

Gehalt von 100 g Boden an gesamtem leichtlöslichen Stickstoff:

Zeit der Probenahme	in der Strohdüngerreihe mg	in der Torfdüngerreihe mg
vor der Düngung	5,0	5,0
3. Dezember 1926	9,7	10,2
29. März 1927	6,9	6,3
17. Juni 1927	5,4	5,5
29. Oktober 1927	6,0	5,4

Wie vorauszusehen war, nahm der leichtlösliche Stickstoff nach der Düngung rasch ab, allerdings nur bis zur Bepflanzung; von da an hält sich der leichtlösliche Stickstoff wahrscheinlich infolge der Wurzeltätigkeit der angebauten Rüben auf nahezu gleicher Höhe.

---

[1]) 200 g Boden wurden zunächst wie üblich mit 2000 ccm 1 prozent. Kaliumsulfatlösung ausgeschüttelt. Von der vom Boden abfiltrierten Lösung wurden 1600—1800 ccm, entsprechend 160—180 g Boden in einer Porzellanschale mit wenigen Tropfen Phenol-Schwefelsäure neutralisiert und darauf bis auf ein kleines Volumen eingedampft. Sodann wurde vom ausgeschiedenen Calciumsulfat abfiltriert und die Lösung in einem Jenaer Kolben unter Kühlung mit 20 ccm Phenol-Schwefelsäure und etwas Zinkstaub und Quecksilber versetzt und wie üblich nach Kjeldahl verbrannt.

β) Ammoniakstickstoff.

Diese Bestimmung lieferte nach dem Verfahren von Hasenbäumer und Lohmann[1]) folgende Ergebnisse:

Gehalt von 100 g Boden an Ammoniakstickstoff:

Zeit der Probenahme	in der Strohdüngerreihe	in der Torfdüngerreihe
	mg	mg
3. Dezember 1926	5,7	7,6
29. März 1927	4,6	4,2
17. Juni 1927	3,1	2,5
29. Oktober 1928	2,3	2,1

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß der Ammoniakstickstoff regelmäßig und scheinbar unabhängig von Jahreszeit und Bepflanzung abgenommen hat; ferner sieht man, daß anfänglich in der Torfdüngerreihe infolge des höheren Gehaltes des Torfdüngers an Ammoniakstickstoff (vgl. Tabelle 1 im Anhang) der Gehalt an dieser Stickstofform höher gewesen ist, als in der Strohdüngerreihe.

γ) Nitratstickstoff.

Den Nitratstickstoff habe ich in der lufttrockenen und in einer besonderen frischen Probe nach der Test-Methode von Tillmans bestimmt.

100 g Boden enthielten folgende Mengen Nitratstickstoff:

Zeit der Probenahme	Strohdüngerreihe	Torfdüngerreihe	Zeit der Probenahme	Strohdüngerreihe	Torfdüngerreihe
	In den lufttrockenen Proben			In der frischen Probe (umger. auf lufttr. Boden)	
	mg	mg		mg	mg
3. Dez. 1926 . .	1,5	2,6	—	—	—
29. März 1927 . .	1,0	1,3	14. April 1927 . .	0,5	0,6
17. Juni 1927 . .	0,5	0,9	27. Juni 1927 . .	0,3	0,6
29. Okt. 1927 . .	0,4	0,5	28. Nov. 1927 . .	5,2	3,7
—	—	—	23. Febr. 1928 . .	0,2	0,2

[1]) Von der Lösung, die durch Ausschütteln von 100 g Boden mit 1000 ccm 1 prozent. Kaliumsulfatlösung gewonnen wurde, wurden 800 ccm, entsprechend 80 g Boden, mit Magnesia versetzt und der Destillation unterworfen; das übergehende Ammoniak wurde in 20 ccm $^1/_{10}$ n. Schwefelsäure aufgefangen.

Aus den Ergebnissen geht hervor, daß bis zur Bepflanzung der Nitratstickstoffgehalt auf den mit Torfdünger gedüngten Bodenparzellen stets höher als auf den Vergleichsparzellen, nach der Ernte aber niedriger oder höchstens gleich war.

b) Zitronensäurelösliche Phosphorsäure.

Im Mittel von fünf Bodenarten[1]) enthielten 100 g Boden:

	in der Strohdüngerreihe	in der Torfdüngerreihe
	mg	mg
vor der Düngung	33,4	33,4
3. Dezember 1926	37,0	38,7
29. März 1927	35,9	37,8
17. Juni 1927	35,7	37,6
29. Oktober 1927	34,0	34,4
20. Februar 1928	33,7	35,5

Die von M. Bach gemachte Feststellung, daß der Gehalt an zitronensäurelöslicher Phosphorsäure im Boden weder durch Auswaschung noch durch Pflanzenwachstum merklich beeinflußt wird, finde ich hier bestätigt. Die Differenzen zwischen den Werten von beiden Versuchsreihen sind unbedeutend; man kann sie als innerhalb der Fehlergrenze liegend ansehen.

c) Kali.

Das Verhalten des aufnehmbaren Kalis habe ich außer nach dem alten Bestimmungsverfahren von König und Hasenbäumer auch nach dem Keimverfahren von Neubauer geprüft.

Nach den Versuchen von J. König und J. Hasenbäumer[2]) liefert das Keimverfahren ebensogut wie die Zitronensäuremethode Werte, die das Verhalten des aufnehmbaren Kalis anzeigen. Nur sind die Werte durchweg höher als die, die nach der Zitronensäuremethode gefunden werden. Im Mittel aller Versuche verhielten sich die nach den beiden verschiedenen Methoden gefundenen Werte wie 1 : 0,63. Nach meinen Untersuchungen ergab sich im Mittel von sämtlichen Bestimmungen das Verhältnis Kali, nach Neubauer bestimmt: Kali, nach König und Hasenbäumer bestimmt, wie folgt:

---

[1]) Beim Kalkboden konnte des hohen Kalziumkarbonatgehaltes wegen das Zitronensäureverfahren nicht angewandt werden.

[2]) J. König und J. Hasenbäumer, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung 1926, Teil B, 443.

in der Strohdüngerreihe	in der Torfdüngerreihe
1 : 0,63	1 : 0,68

Die Ergebnisse waren im Mittel der fünf bezw. sechs Bodenarten[1]) folgende:

100 g Boden enthielten:

Zeit der Probenahme	Zitronensäurelösliches Kali (nach König u. Hasenbäumer)		Wurzellösliches Kali (nach Neubauer)	
	Strohdüngerreihe	Torfdüngerreihe	Strohdüngerreihe	Torfdüngerreihe
vor der Düngung .	16,7	16,7	—	—
3. Dez. 1926 . .	25,4	21,3	41,9	30,9
29. März 1927 . .	27,6	21,0	39,7	30,6
17. Juni 1927 . .	23,4	18,4	38,4	31,0
29. Okt. 1927 . . .	17,7	15,2	28,3	25,2
20. Febr. 1928 . .	13,6	16,9	26,5	20,5

Die stärkere Abnahme des Kalis ist wohl darauf zurückzuführen, daß das Kali von den Pflanzen (Rüben) in weit größerer Menge aufgenommen wird als die Phosphorsäure.

Sehr deutlich tritt auch ein geringerer Kaligehalt der Torfdüngerreihe gegenüber der Strohdüngerreihe hervor. Der geringere Kaligehalt dieser Reihe ist durch die geringere Zufuhr an diesem Nährstoff durch den Torfdünger bedingt. Die Abnahme durch Bindung oder Auswaschung geht auf beiden Reihen gleich schnell vor sich.

Aus den Ergebnissen der Nährstoffbestimmungen kann gefolgert werden, daß der Torfdünger in seinem Einfluß auf das Verhalten der leichtlöslichen Nährstoffe im Boden keine wesentlichen Unterschiede vom Strohdünger aufweist. Mit der Verschiedenheit der Zersetzungsgeschwindigkeit der beiden Düngersorten geht keine analoge Abnahme der Nährstoffe parallel. Daß aber die Zersetzung bei beiden Bodenreihen nicht gleich war, konnte schon rein äußerlich an der unzersetzten Menge der Torf- bezw. der Strohteilchen erkannt werden. Auf den mit Torfdünger gedüngten Parzellen waren die unzersetzten Torfteile immer zahlreicher und auch weniger mürbe als die Strohteile auf der ent-

[1]) Beim Kalkboden wurde die Bestimmung nach dem Zitronensäureverfahren nicht ausgeführt.

sprechenden Vergleichsparzelle. Auch auf den verschiedenen Bodenarten war die Zersetzung nicht die gleiche. Beim Sandboden und lehmigen Sand war die Zersetzung auch äußerlich am vollkommensten, es folgten Lehmboden und Lenneschiefer mit weniger starker Zersetzung; beim Kalk- und Tonboden war von einer Zersetzung wenig zu merken. Immerhin schien selbst beim Kalk- und Tonboden die Zersetzung in der Strohdüngerreihe größere Fortschritte zu machen als beim bestzersetzenden Boden, dem Sandboden, in der Torfdüngerreihe. Nach der Ernte gab ein Vergleichen der Zersetzungsgrade das gleiche Bild. Während die Torfteile nur wenig angegriffen waren, waren die Strohteile beim Sandboden, Lehmboden und Lenneschiefer schon zerfallen, bei Kalk- und Tonboden sehr mürbe. (Vgl. auch Einfluß der Bodenart auf S. 10).

II. Die Wirkung von Stroh- und Torfdünger auf das Pflanzenwachstum.

Um die Wirkung von Stroh- und Torfdünger durch einen Vergleichsversuch zu ermitteln, wurde am 18. Juni 1927 jede der 12 Parzellen mit 14 Runkelrübenpflanzen (gelbe Eckendorfer) bestellt. Die Witterung während des Versuches war im allgemeinen günstig. Zunächst war sie bis Anfang Juli feucht, so daß die Pflanzen bis auf einige wenige gut angingen. Die zweite Hälfte des Juli und die erste des August waren vorwiegend trocken und warm, so daß die Entwicklung, hauptsächlich der Blätter, recht lebhaft war. Trotzdem die zweite Hälfte des August regnerisch und kühl war, ging das Wachstum, nun auch der Knollen, recht gut vorwärts; im September und Oktober war die Witterung wieder günstiger. Am 27. Oktober wurde geerntet, nachdem vorher schon die welken Blätter gesammelt waren. Unterschiede im Aussehen der Pflanzen waren schon zu Beginn der lebhafteren Entwicklung, also im Juli, zu bemerken, sowohl hinsichtlich der Bodenart, als auch der Düngung. Die drei schweren Böden, Kalkboden, Tonboden und Lenneschiefer, waren in der Entwicklung, zunächst der Blätter und später auch der Knollen, den leichten Böden weit voraus und behielten diesen Vorsprung bis zum Schluß des Versuches. Hinsichtlich der verschiedenen Düngung waren bei allen Böden Unterschiede vorhanden und zwar zugunsten des

Torfdüngers. Die mit Torfdünger gedüngten Parzellen waren in der Entwicklung den Vergleichsparzellen weit voraus; die Blätter zeigten ein tieferes Grün und üppigeres Wachstum, bei fortschreitender Entwicklung wurden die Rüben in der Torfdüngerreihe viel größer, eine Beobachtung, deren Richtigkeit bei der Ernte bestätigt wurde.

Denn es lieferte jede Parzelle, umgerechnet auf 1 a, folgende Mengen frische Rüben und Blätter in Kilogramm:

Reihe		Sandboden	Lehmiger Sandboden	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden	Mittel
Strohdüngerreihe	Rüben	283,2	305,1	310,4	403,2	424,0	332,8	343,1
	Blätter	73,1	103,5	82,1	106,1	111,0	114,7	98,4
	Gesamt	356,3	408,6	392,5	509,3	535,0	447,5	441,5
Torfdüngerreihe	Rüben	383,5	315,8	430,4	532,2	501,9	410,7	429,1
	Blätter	94,9	122,1	86,4	111,0	103,0	118,4	105,9
	Gesamt	478,4	437,9	516,8	643,2	604,9	529,1	535,0

Die frischen Rüben und Blätter enthielten folgende Mengen Trockensubstanz in Prozenten:

Strohdüngerreihe	Rüben	15,11	15,29	15,06	16,06	16,62	18,38	16,07
	Blätter	15,29	16,43	17,80	17,78	14,09	14,48	15,98
Torfdüngerreihe	Rüben	15,00	15,89	14,76	15,25	15,85	18,85	15,93
	Blätter	14,71	14,10	17,10	16,29	14,68	15,86	15,62

Demnach war die Ernte an Trockensubstanz in Kilogramm je 1 a oder dz je 1 ha:

Strohdüngerreihe	Rüben	42,8	46,6	46,8	64,8	70,5	61,2	55,5
	Blätter	11,2	17,0	14,6	18,9	15,6	16,6	15,6
	Gesamt	54,0	63,6	61,4	83,7	86,1	77,8	71,1
Torfdüngerreihe	Rüben	57,5	50,2	63,5	81,2	79,5	77,4	68,2
	Blätter	14,0	17,2	14,8	18,1	15,1	18,8	16,3
	Gesamt	71,5	67,4	78,3	99,3	94,6	96,2	84,5

Die Ergebnisse lassen deutlich eine Überlegenheit des Torfdüngers erkennen. Sind auch die Erträge auf beiden Bodenreihen an Kraut annähernd gleich, so hat doch an Rüben die Torfdüngerreihe im Mittel einen Mehrertrag von 13 kg für 1 a gebracht.

Sandboden, Lehmboden, Kalkboden und Lenneschiefer zeigen in der Ertragsfähigkeit ihrer beiden Teilparzellen die größten Unterschiede, beim lehmigen Sand- und beim Tonboden ist der Unterschied geringer.

Die Ernte entspricht aber auch bei der Torfdüngerreihe keiner Vollernte; man rechnet im allgemeinen mit 120 kg Rübentrockensubstanz für 1 a. Der Grund für den allgemeinen Minderertrag bei meinen Versuchen ist darin zu sehen, daß es den Pflanzen während des Wachstums besonders an Stickstoff gefehlt hat. Nach König und Hasenbäumer[1]) sind nämlich folgende Mengen Stickstoff, Phosphorsäure und Kali (in leichtlöslicher Form) zur Erreichung einer Vollernte erforderlich:

Stickstoff	Phosphorsäure	Kali in 1 kg Boden
140—150 mg	250 mg	160—170 mg

während bei meinen Versuchen zur Zeit der Bepflanzung folgende Mengen vorhanden waren:

auf der Strohdüngerreihe			auf der Torfdüngerreihe		
Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
54 mg	357 mg	234 mg	55 mg	376 mg	184 mg

Demnach waren Phosphorsäure und Kali in überreichlicher Menge zugegen, dagegen fehlten an leichtlöslichem Stickstoff rund 60% der erforderlichen Menge. Da aber lediglich die unterschiedlichen Wirkungen der beiden Düngerarten geprüft und demnach in keiner Form beeinflußt werden sollten, wurde von einer Zufuhr der fehlenden Stickstoffmenge abgesehen.

Die Ausnutzung der leichtlöslichen Nährstoffe durch die Rüben.

Hier mögen nur die Mittelwerte der Ergebnisse von den sechs Bodenarten berücksichtigt werden; die Werte für jede einzelne Bodenart sind in den Tabellen im Anhang zu finden. (Tabelle 5 bis 8.) Der prozentuale Gehalt der Trockensubstanz an Nährstoffen war im Mittel der Stroh- bezw. Torfdüngerreihe folgender:

---

[1]) Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung, 1925, 3.

		an Stickstoff %	an Phosphorsäure %	an Kali %
Strohdüngerreihe	Rüben	1,57	0,95	5,09
	Blätter	2,51	0,85	5,16
Torfdüngerreihe	Rüben	1,65	0,96	5,21
	Blätter	2,57	0,77	4,65

Indem man mit diesen Werten die genannte mittlere Trockensubstanz multipliziert, andererseits durch Multiplizieren des Bodengewichtes von 1 a in einer Schicht von 20 cm Tiefe (2000 l) mit dem Gehalt der in einem Kilogramm Boden vorhandenen leichtlöslichen Nährstoffe die im Boden vorhandenen Mengen Nährstoffe berechnet, erhält man folgende prozentuale Ausnutzung der leichtlöslichen Nährstoffe im Mittel von sechs bezw. fünf Bodenarten:

		Stickstoff	Phosphorsäure	Kali: Zitronensäurelösl.	Kali: Wurzellösl.
Strohdüngerreihe	im Boden vorhanden	14,51 kg	100,20 kg	64,55 kg	104,01 kg
	durch die Pflanzen aufgenommen . .	12,64 „	6,46 „	35,02 „	35,96 „
	Ausnutzung	87 %	6,5 %	54 %	34,5 %
Torfdüngerreihe	im Boden vorhanden	14.93 kg	105,48 kg	51,15 kg	83,95 kg
	durch die Pflanzen aufgenommen . .	15.33 „	7,59 „	41,88 „	43,12 „
	Ausnutzung	103 %	7,2 %	82 %	51 %

Auch dieser Vergleich läßt die Überlegenheit des Torfdüngers in seiner Wirkung auf das Pflanzenwachstum deutlich erkennen. Die Rüben haben in der Torfdüngerreihe bei gleichem leichtlöslichem Stickstoffgehalt, annähernd gleichem leichtlöslichem Phosphorsäuregehalt und geringem leichtlöslichem Kaligehalt nicht nur absolut mehr von diesen Nährstoffen aufgenommen, sondern auch prozentual höher ausgenutzt. Es muß daher auf irgendeine Art und Weise das Wachstum in der Torfdüngerreihe lebhafter unterstützt worden sein als in der Strohdüngerreihe. Die einzelnen Parzellen lagen dicht nebeneinander, die Torfdüngerreihe allerdings nach Süden, aber darin kann schwerlich die Ursache liegen. Wir haben gesehen, daß die Zersetzung in der Torfdüngerreihe in der ersten Zeit nach der Düngung erheblich geringer, nach dem ersten halben Jahr aber höher als in der Strohdünger-

reihe war. So betrug die Menge des zersetzten Kohlenstoffs in 1 kg Boden für jeden Tag der Zeitabschnitte:

	nach rund 4 Monaten	nach $6^1/_2$ Monaten	nach 11 Monaten	nach $14^1/_2$ Monaten
	mg	mg	mg	mg
Strohdüngerreihe . . .	9,5	21,7	3,6	2,9
Torfdüngerreihe . . .	11,4	18,9	3,7	7,0

Es ist nicht ausgeschlossen, daß die erhöhte Zersetzung des Kohlenstoffs während der Wachstumzeit das Rübenwachstum, abgesehen von der geringeren Wärmeerhöhung, auch dadurch gefördert hat, daß eine erhöhte Kohlensäurebildung eine bessere Aufschließung der Pflanzennährstoffe im Boden zur Folge gehabt hat.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

I. Die Zersetzung von Stroh- und Torfstreustalldünger im Boden.

1. Die Zersetzung des Gesamtkohlenstoffs war in der Strohdüngerreihe, abgesehen vom Sandboden, eine weitaus lebhaftere als in der Torfdüngerreihe; besonders deutlich tritt der Unterschied beim Tonboden in die Erscheinung; im allgemeinen ist die Zersetzung des Torfdüngers auf den tonigen Böden (Lehm-, Ton- und Lenneschieferboden) hinter der des Strohdüngers zurückgeblieben.

2. Wie der Gesamtkohlenstoff wurden auch die zugeführten Pentosane des Strohdüngers schneller zersetzt als die des Torfdüngers; sie sind in der Strohdüngerreihe schon nach einem Jahre zersetzt, während in der Torfdüngerreihe von ihnen nach einem Jahre noch 16,8 % vorhanden waren.

3. Die nur langsam vor sich gehende Zersetzung der Lignine war in beiden Reihen gleich. Bei fortschreitender Zersetzung der Pentosane und Zellulosen reichert sich auch nach diesem Versuch das Lignin im Bodenhumus an.

4. Der zugeführte Gesamtstickstoff erfährt in der Torfdüngerreihe in der ersten Zeit nach der Düngung eine geringere Abnahme als in der Strohdüngerreihe. Nach der Ernte der angebauten Rüben war in allen Parzellen der zugeführte Stickstoff verbraucht, und auch schon ursprünglich vorhandener Stickstoff angegriffen.

5. Ähnlich verhielt sich der leichtlösliche Stickstoff und zwar sowohl der gesamte leichtlösliche, als auch der Ammoniak- und der Nitratstickstoff. Anfangs war der Gehalt der Böden an leichtlöslichem Stickstoff in der Torfdüngerreihe etwas höher als in der Strohdüngerreihe, nach der Ernte aber geringer. Der Nitratstickstoff machte insofern eine Ausnahme, als bei sämtlichen Probenahmen in der Torfdüngerreihe der Gehalt der Böden an dieser Stickstoffform höher war als in der Strohdüngerreihe.

6. Der Gehalt der Böden an zitronensäurelöslicher Phosphorsäure erfuhr in der Versuchszeit kaum eine Veränderung; ein unterschiedliches Verhalten in Stroh- und Torfdüngerreihe wurde nicht festgestellt.

7. Der Gehalt an leichtlöslichem Kali war sowohl nach dem Zitronensäure-, als auch nach dem Keimverfahren infolge des höheren Gehaltes des Strohes gegenüber dem Torf in der Strohdüngerreihe höher als in der Torfdüngerreihe; dagegen waren die Verluste an Kali, sei es infolge von Auswaschung oder infolge von Umsetzung, in der Torfdüngerreihe geringer als in der Strohdüngerreihe.

II. Die Wirkung von Stroh- und Torfdünger auf das Pflanzenwachstum.

8. Die Ernte an Trockensubstanz war im Mittel auf der Strohdüngerreihe 71,1 kg je 1 a, auf der Torfdüngerreihe 84,5 kg je 1 a. Der höhere Ertrag der Torfdüngerreihe ist wohl ohne Zweifel darauf zurückzuführen, daß die Torfdüngerreihe gehaltreicher an leichtlöslichem Stickstoff (Ammoniak- und Nitratstickstoff) als die Strohdüngerreihe war und, daß die Zersetzung des Torfdüngers in der Wachstumzeit der Rüben eigentlich erst einsetzte und so durch ein lebhaftes organisches Leben das Wachstum fördern konnte, während zu dieser Zeit auf der Strohdüngerreihe die Zersetzung schon ihrem Ende entgegen ging.

9. Wie der Ertrag auf der Torfdüngerreihe höher war, so war auch die Ausnutzung der leichtlöslichen Nährstoffe in dieser Reihe eine höhere als in der Strohdüngerreihe. Der leichtlösliche Stickstoff ist im Mittel in der Torfdüngerreihe zu 103 %, also vollständig, dagegen in der Strohdüngerreihe nur zu 87 % ausgenutzt worden. Die zitronensäurelösliche Phosphorsäure ist

in der Torfdüngerreihe zu 7,2 %, in der Strohdüngerreihe zu 6,5 % ausgenutzt worden; das zitronensäurelösliche Kali in der Torfdüngerreihe zu 82 % und in der Strohdüngerreihe zu 54 %.

10. Auch das Keimverfahren von Neubauer kann zur Berechnung der prozentualen Ausnutzung verwendet werden. Indes fallen hier die prozentualen Ausnutzungswerte anders aus. Weil nach dem Keimverfahren für 1 kg Boden 240 mg Kali gegen 160 mg nach dem Zitronensäureverfahren verlangt werden, so müssen bei gleicher Aufnahme von Kali durch die Pflanzen die prozentualen Aufnutzungswerte geringer ausfallen. In der Tat fand ich in der Torfdüngerreihe eine Ausnutzung des wurzellöslichen Kalis zu 51 % und in der Strohdüngerreihe zu 34 % gegenüber einer Ausnutzung von 82 % bezw. 54 % zitronensäurelöslichen Kalis.

Die vorstehende Arbeit entstand im chemischen Laboratorium der Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster i. W. Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem Leiter der Versuchsstation, Herrn Prof. Dr. A. Bömer, für sein Wohlwollen und für seine stets hilfsbereite Unterstützung auch an dieser Stelle meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen. Zu ganz besonderen Dank bin ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. J. König, auf dessen Anregung und unter dessen Leitung die vorliegender Arbeit entstand, verpflichtet.

Aufrichtig dankbar bin auch Herrn Dr. J. Hasenbäumer für seine freundliche Unterstützung mit Rat und Tat.

Anhang.

(Analytische Belege.)

Tabelle 1.

Die Zusammensetzung des Stroh- und des Torfdüngers.

Bestandteile	Im frischen Dünger		In der Trockensubstanz		Jeder Parzelle (1,875 qm) zugeführt	
	Strohdünger %	Torfdünger %	Strohdünger %	Torfdünger %	durch 25 kg Strohdünger	durch 25 kg Torfdünger
Wasser	77,58	78,53	—	—	19,39 kg	19,63 kg
Mineralstoffe	8,22	6,32	36,68	29,44	2,06 „	1,58 „
In Salzsäure unlösl. Mineralstoffe	6,44	5,04	28,80	23,47	1,61 „	1,26 „
Phosphorsäure	0,150	0,157	0,68	0,73	37,6 g	39,3 g
Kali	0,263	0,164	1,17	0,77	65,8 „	41,1 „
Kalk	0,338	0,324	1,51	1,51	84,6 „	80,9 „
Gesamtstickstoff	0,272	0,317	1,21	1,48	68,1 „	79,4 „
Ammoniakstickstoff	0,015	0,051	—	—	3,8 „	12,8 „
Organische Substanz (Glühverlust)	14,20	15,16	63,32	70,56	3,55 kg	3,79 g
Kohlenstoff	7,15	7,34	31,88	34,18	1787 g	1835 g
Pentosane	3,76	2,13	16,78	9,94	940 „	534 „
Methoxyl	0,400	0,306	1,79	1,42	100,5 „	76,5 „

Tabelle 2.

Gehalt von 100 g Boden an Kohlenstoff, Pentosanen und Methoxyl in Milligramm.

a) Strohdüngerreihe.

Nr. der Probe	Zeit der Probenahme	Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden	Mittel
		1. Gesamt-Kohlenstoff.							
		vor der Düngung	1318	1687	1560	2269	1508	1844	1698
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	1760	2105	1964	2707	2044	2330	2151
2.	29. März 1927	—	1665	1959	1894	2565	1920	2243	2041
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	1588	1831	1798	2458	1591	1945	1867
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	1584	1800	1727	2330	1607	1866	1819
5.	20. Febr. 1928	—	1577	1755	1665	2303	1531	1885	1786
		2. Pentosane.							
		vor der Düngung	109	151	141	243	119	136	150
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	320	339	306	470	320	344	350
2.	29. März 1927	—	263	282	292	375	255	227	282
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	167	235	245	286	163	189	214
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	148	179	169	258	138	161	175
5.	20. Febr. 1928	—	118	155	162	240	123	141	157
		3. Methoxyl.							
		vor der Düngung	34,6	52,7	44,4	—	63,0	65,7	52,0
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	52,5	73,0	63,3	—	82,3	85,9	71,4
2.	29. März 1927	—	48,8	69,9	63,6	—	67,7	83,2	66,6
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	45,2	59,4	58,6	—	48,5	68,0	55,9
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	42,0	42,8	43,9	—	47,8	55,9	46,5
5.	20. Febr. 1928	—	51,5	47,1	54,4	—	48,0	57,7	51,7

Tabelle 2. (Fortsetzung.)

Gehalt von 100 g Boden an Kohlenstoff, Pentosanen und Methoxyl in Milligramm.

b) Torfdüngerreihe.

Nr. der Probe	Zeit der Probenahme	Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden	Mittel
		1. Gesamt-Kohlenstoff.							
	vor der Düngung		1318	1687	1560	2269	1508	1844	1698
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	[1])	2236	1997	2845	2052	2330	2292
2.	29. März 1927	—	1825	2223	1885	2745	2064	2216	2160
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	1625	1870	1844	2626	2054	2038	2009
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	1588	1840	1783	2512	2063	1975	1960
5.	20. Febr. 1928	—	1577	1847	1774	2325	1809	1951	1880
		2. Pentosane.							
	vor der Düngung		109	151	141	243	119	136	150
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	333	314	265	391	266	225	299
2.	29. März 1927	—	265	306	237	393	243	194	273
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	234	216	222	288	186	191	223
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	178	192	199	285	186	158	200
5.	20. Febr. 1928	—	145	183	170	261	144	148	175
		3. Methoxyl.							
	vor der Düngung		43,7	45,7	39,7	—	49,9	57,7	47,3
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	57,4	61,2	54,1	—	64,6	73,1	62,0
2.	29. März 1927	—	46,3	61,7	50,8	—	58,8	71,2	57,7
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	49,3	57,7	48,4	—	48,5	57,2	52,2
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	35,7	37,5	31,3	—	42,6	53.7	40,1
5.	20. Febr. 1928	—	38,3	51,1	46,1	—	45,4	60,3	48,2

[1]) Wegen unrichtiger Probenahme unsicher und deshalb nicht aufgeführt.

Tabelle 3.

Gehalt von 100 g Boden an Stickstoff in Milligramm.

a) Strohdüngerreihe.

Nr. der Probe	Zeit der Probenahme	Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden	Mittel
		1. Gesamt-Stickstoff.							
	vor der Düngung		109,0	138,0	153,0	213,0	150,0	200,0	160,0
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	159,1	209,0	181,8	220,0	179,0	257,5	203,2
2.	29. März 1927	—	132,5	155,6	165,2	206,2	171,4	198,8	171,6
3.	17. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	116,1	149,0	155,6	205,8	174,3	195,9	166,7
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	112,5	142,1	151,5	195,5	157,5	185,2	157,3
5.	20. Febr. 1928	—	99,0	135,7	143,0	187,2	162,4	181,8	151,5
		2. Gesamter leichtlöslicher Stickstoff.							
	vor der Düngung		3,8	7,1	3,1	5,0	7,3	3,9	5,0
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	10,6	11,0	6,3	8,7	6,8	15,5	9,7
2.	29. März 1927	—	8,0	7,6	5,6	8,7	4,8	6,6	6,9
3.	17. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	5,3	5,1	3,7	7,8	4,1	6,5	5,4
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	3,8	4,6	4,9	4,8	6,2	11,8	6,0
		3. Ammoniakstickstoff.							
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	5,8	7,9	2,7	4,1	3,9	9,8	5,7
2.	29. März 1927	—	4,6	5,4	3,9	8,0	2,9	3,0	4,6
3.	17. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	1,8	1,8	2,6	5,4	2,9	4,0	3,1
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	1,4	1,1	1,6	1,6	2,9	5,3	2,3
		4. Nitratstickstoff.							
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	0,79	1,57	1,57	2,25	1,24	1,46	1,48
2.	29. März 1927	—	0,45	0,67	1,12	1,91	0,90	0,67	0,95
3.	17. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	0,18	0,63	0,36	1,00	0,54	0,45	0,52
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	0,39	0,56	0,37	0,51	0,34	0,47	0,44
		5. Nitratstickstoff in frischen Böden (auf lufttrockenen Boden umgerechnet).							
1.	14. April 1927	nach der Düngung	0,84	0,33	0,53	0,36	0,37	0,55	0,50
2.	27. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	0,46	0,35	0,27	0,26	0,22	0,44	0,33
3.	28. Nov. 1927	nach der Ernte	5,23	5,78	3,86	5,94	3,16	7,06	5,17
4.	23. Febr. 1928	—	0,21	0,23	0,20	0,22	0,18	0,21	0,21

Tabelle 3 (Fortsetzung).

Gehalt von 100 g Boden an Stickstoff in Milligramm.

b) Torfdüngerreihe.

Nr. der Probe	Zeit der Probenahme	Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden	Mittel
		1. Gesamtstickstoff.							
	vor der Düngung		109,0	138,0	153,0	213.0	150,0	200,0	160,0
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	176.6	240,5	178,5	220.0	162,0	239,0	202,7
2.	29. März 1927	—	138,1	184,5	170,1	207,6	161,2	189,5	174,9
3.	17. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	128,4	153,7	164,9	198,6	159,4	191,3	166,0
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	101,2	139,5	150,6	185,4	155,5	185,6	152,9
5.	20. Febr. 1928	—	97,5	140,5	144,5	192,2	145,6	188,6	151.5
		2. Gesamter leichtlöslicher Stickstoff.							
	vor der Düngung		3,8	7,1	3,1	5,0	7,3	3,9	5,0
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	11.5	15,1	6,3	6,9	5,8	15,3	10,2
2.	29. März 1927	—	5,0	9,2	6,3	6,6	5,4	5,5	6,3
3.	17. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	4,1	7,0	4,4	6,0	6,4	5,3	5,5
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	3,9	5,8	5,3	4,8	5,0	7,7	5,4
		3. Ammoniakstickstoff.							
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	8,9	13,2	4,0	4,1	3,0	12,3	7,6
2.	29. März 1927	—	3,8	6,4	3,9	4,0	3,7	3,1	4,2
3.	17. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	1,9	2.1	1,8	2,9	2,6	3,8	2,5
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	1,1	2,1	1,8	1,6	2,8	3,0	2,1
		4. Nitratstickstoff.							
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	1,12	2,25	2,47	4,27	3,15	2,70	2,66
2.	29. März 1927	—	0,90	1,35	0,90	2,25	1,12	1,12	1,27
3.	17. Juni 1927	vor d. Bepflanzung	0,22	0,74	0,81	1,48	0,74	1,10	0,85
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	0,25	0,45	0,45	0,56	0,51	0,47	0,46
		5. Nitratstickstoff in frischen Böden (auf lufttrockenen Boden umgerechnet).							
1.	14. April 1927	nach der Düngung	0,69	0,87	0,42	0,62	0,52	0,69	0,64
2.	27. Juni 1927	—	0,57	0,46	0,35	1,19	0,28	0,82	0,61
3.	28. Nov. 1927	vor d. Bepflanzung	3,31	5,53	2,80	2,68	3,39	4,45	3,69
4.	23. Febr. 1928	nach der Ernte	0,21	0,24	0,20	0,24	0,20	0,21	0,22

Tabelle 4.

Gehalt von 100 g Boden an leichtlöslicher Phosphorsäure und leichtlöslichem Kali in Milligramm.

a) Strohdüngerreihe.

Nr. der Probe	Zeit der Probenahme	Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden	Mittel
		1. Zitronensäurelösliche Phosphorsäure.							
		vor der Düngung	55,6	28,6	36,4	—	27,4	19,2	33,4
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	54,3	34,7	38,4	—	27,9	29,9	37,0
2.	29. März 1927	—	52,4	30,5	37,8	—	28,1	30,5	35,9
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	54,6	29,2	37,6	—	28,8	28,3	35,7
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	53,2	31,9	35,9	—	24,3	24,7	34,0
5.	20. Febr. 1928	—	50,2	34,7	38,3	—	23,5	21,9	33,7
		2. α) Zitronensäurelösliches Kali.							
		vor der Düngung	11,6	14,8	10,6	—	22,7	23,8	16,7
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	21,9	29,0	19,3	—	32,4	29,8	26,5
2.	29. März 1927	—	20,3	26,4	17,0	—	33,3	30,8	25,4
3	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	21,5	23,0	15,0	—	28,7	28,7	23,4
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	15,2	18,7	12,9	—	22,5	19,2	17,7
5.	20. Febr. 1928	—	11,1	12,9	9,8	—	18,0	16,5	13,6
		2. β) Wurzellösliches Kali.							
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	28,8	30,4	38,5	40,7	68,0	45,0	41,9
2.	29. März 1927	—	28,2	26,4	33,7	40,6	68,3	41,1	39,7
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	26,2	25,6	31,9	40,5	65,5	40,7	38,4
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	17,0	21,5	25,2	24,5	47,8	33,7	28,3
5.	20. Febr. 1928	—	16,4	19,5	23,1	25,6	44,7	29,8	26,5

Tabelle 4 (Fortsetzung).

Gehalt von 100 g Boden an leichtlöslicher Phosphorsäure und leichtlöslichem Kali in Milligramm.

b) Torfdüngerreihe.

Nr. der Probe	Zeit der Probenahme	Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lettenschieferboden	Mittel
		1. Zitronensäurelösliche Phosphorsäure.							
	vor der Düngung		55,6	28,6	36,4	—	27,4	19,2	33,4
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	57,7	39,5	38,2	—	28,5	29,6	38,7
2.	29. März 1927	—	56,6	33,5	40,9	—	30,1	27,1	37,6
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	53,8	33,9	40,4	—	30,7	29,5	37,6
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	54,1	35,0	35,4	—	27,1	20,3	34,4
5.	20. Febr. 1928	—	54,1	35,9	37,9	—	25,9	23,9	35,5
		2. α) Zitronensäurelösliches Kali.							
	vor der Düngung		11,6	14,8	10,6	—	22,7	23,8	16,7
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	23,5	19,0	14,7	—	27,6	21,6	21,3
2.	29. März 1927	—	19,2	21,2	14,7	—	28,1	22,1	21,0
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	15,8	16,5	14,2	—	26,2	19,7	18,4
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	14,9	14,6	10,3	—	22,2	14,2	15,2
5.	20. Febr. 1928	—	11,4	20,9	12,4	—	22,9	17,0	16,9
		2. β) Wurzellösliches Kali.							
1.	3. Dez. 1926	nach der Düngung	25,8	21,0	25,5	30,7	50,8	32,0	30,9
2.	29. März 1927	—	20,5	18,9	27,0	31,5	52,5	33,1	30,6
3.	17. Juni 1927	vor der Bepflanzung	21,0	19,3	27,2	35,2	51,5	31,9	31,0
4.	29. Okt. 1927	nach der Ernte	17,3	16,2	20,2	25,8	43,4	28,3	25,2
5.	20. Febr. 1928	—	12,5	13,1	20,0	21,2	33,5	22,5	20,5

Tabelle 5.

Prozentualer Gehalt der Trockensubstanz der geernteten Rüben und Blätter an Nährstoffen auf den verschiedenen Bodenarten.

Reihe		Sandboden %	Lehmiger Sand %	Lehmboden %	Kalkboden %	Tonboden %	Lenneschieferboden %	Mittel %
1. Stickstoff.								
Strohdüngerreihe	Rüben	1,37	1,81	1,58	1,60	1,44	1,64	1,57
	Blätter	2,38	2,93	2,31	2,25	2,45	2,74	2,51
Torfdüngerreihe	Rüben	1,47	1,88	1,72	1,47	1,66	1,68	1,65
	Blätter	2,89	2,67	2,73	2,36	2,32	2,54	2,57
2. Phosphorsäure.								
Strohdüngerreihe	Rüben	1,22	0,82	1,07	0,83	0,95	0,85	0,95
	Blätter	0,84	0,74	1,01	0,83	1,03	0,67	0,85
Torfdüngerreihe	Rüben	1,01	0,84	1,04	0,94	1,08	0,85	0,96
	Blätter	0,91	0,61	0,66	0,77	0,90	0,80	0,77
3. Kali.								
Strohdüngerreihe	Rüben	5,75	5,24	5,02	4,66	4,80	5,03	5,09
	Blätter	5,16	4,04	4,84	5,50	6,92	4,49	5,16
Torfdüngerreihe	Rüben	5,39	5,14	5,06	4,91	5,93	4,84	5,21
	Blätter	4,94	4,07	3,29	5,22	6,30	4,12	4,65

Tabelle 6.

Aufgenommene Nährstoffe von 1 qm Boden in Gramm.

Durch Multiplizieren der Erntegewichte mit den prozentualen Gehalten der Trockensubstanz ergeben sich die von den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffe:

Reihe		Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden	Mittel
1. Stickstoff.								
Strohdüngerreihe	Rüben	5,86	8,43	7,39	10,37	10,15	10,04	8,70
	Blätter	2,66	4,98	3,37	4,25	3,82	4.55	3,94
	Gesamt	8,52	13,41	10,76	14,62	13,97	14,59	12,64
Torfdüngerreihe	Rüben	8,45	9,44	10,92	11,94	13,20	13,00	11,16
	Blätter	4,05	4,59	3,89	4,27	3,50	4,78	4,17
	Gesamt	12,50	14,03	14,81	16,21	16,70	17,78	15,33
2. Phosphorsäure.								
Strohdüngerreihe	Rüben	5,22	3,83	5,01	5,39	6,66	5,17	5,21
	Blätter	0.95	1,26	1,48	1,57	1,61	1,11	1,33
	Gesamt	6,17	5,09	6,49	6,96	8,27	6,28	6,54
Torfdüngerreihe	Rüben	5,82	4,25	6,62	7,61	8,59	6,58	6,57
	Blätter	1,27	1,05	0,93	1,40	1,36	1,51	1,25
	Gesamt	7,09	5,30	7,55	9,01	9,95	8,09	7,82
3. Kali.								
Strohdüngerreihe	Rüben	24,61	24,42	23,50	30,20	33,85	30,78	27,90
	Blätter	5,78	6,87	7,07	10,40	10,80	7,45	8,06
	Gesamt	30,39	31,29	30,57	40,60	44,65	38,23	35,96
Torfdüngerreihe	Rüben	31,00	25,81	32,14	39,87	47,15	37,47	35,57
	Blätter	6,92	7,00	4,66	9,45	9,51	7,75	7,55
	Gesamt	37,92	32,81	36,80	49,32	56,66	45,22	43,12

Tabelle 7.

Gehalt von 1 kg Boden an leichtlöslichen Nährstoffen am 17. Juni 1927 in Milligramm.

Reihe	Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden	Mittel
1. Gesamter leichtlöslicher Stickstoff.							
Strohdüngerreihe .	52,6	50,5	36,6	78,3	41,2	65,0	54,0
Torfdüngerreihe .	41,2	70,0	44,4	60,3	64,0	52,7	55,4
2. Zitronensäurelösliche Phosphorsäure.							
Strohdüngerreihe .	546	292	376	—	288	283	357
Torfdüngerreihe .	538	339	404	—	307	295	376
3. α) Zitronensäurelösliches Kali.							
Strohdüngerreihe .	215	230	150	—	287	287	234
Torfdüngerreihe .	158	165	142	—	262	197	184
4. β) Wurzellösliches Kali.							
Strohdüngerreihe .	262	256	319	405	655	407	384
Torfdüngerreihe .	210	193	272	352	515	319	310

Das Bodengewicht von 1 qm in 20 cm Schichthöhe = 200 l beträgt in Kilogramm:

Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenneschieferboden
298,4	263,4	282,8	244,0	277,5	264,6

Tabelle 8.

Prozentuale Ausnutzung der Nährstoffe durch die Pflanzen.

(Die Zahlen für die absoluten Mengen bedeuten Gramm Nährstoffe für 1 qm Boden.)

Reihe	Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sand	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Lenne-schieferboden	Mittel
1. Gesamter leichtlöslicher Stickstoff.								
Stroh-düngerreihe	im Boden vorhanden	15,70	13,30	10,35	19,11	11,43	17,20	14,51
	durch die Pflanzen aufgenommen	8,52	13,41	10,76	14,62	13,97	14,59	12,64
	Ausnutzung %	54,3	100,8	101,6	76,5	122,2	84,8	90,1
Torf-düngerreihe	im Boden vorhanden	12,18	18,44	12,55	14,71	17,76	13,95	14,93
	durch die Pflanzen aufgenommen	12,50	14,03	14,81	16,21	16,70	17,78	15,33
	Ausnutzung %	102,6	76,1	118,1	110,2	94,0	127,5	104,6
2. Zitronensäurelösliche Phosphorsäure.								
Stroh-düngerreihe	im Boden vorhanden	162,95	76,92	106,35	—	79,92	74,88	100,20
	durch die Pflanzen aufgenommen	6.17	5,09	6,49	—	8,27	6,28	6,46
	Ausnutzung %	3,8	6,6	6,1	—	10,4	8,4	7,1
Torf-düngerreihe	im Boden vorhanden	160,50	89.30	114,30	—	85,20	78,09	105,48
	durch die Pflanzen aufgenommen	7,09	5,30	7,55	—	9,95	8,09	7,59
	Ausnutzung %	4,4	5,9	6,6	—	11,7	10,4	7,8
3. α) Zitronensäurelösliches Kali.								
Stroh-düngerreihe	im Boden vorhanden	64,17	60,58	42,42	—	79,64	75,96	64,55
	durch die Pflanzen aufgenommen	30,39	31,29	30,57	—	44,65	38,23	35,02
	Ausnutzung %	47,4	51,7	72,1	—	56,1	50,3	55,5
Torf-düngerreihe	im Boden vorhanden	47,19	43,46	40,22	—	72,72	52,19	51,15
	durch die Pflanzen aufgenommen	37,92	32,81	36,80	—	56,66	45,22	41,88
	Ausnutzung %	80,4	75,5	91,5	—	77,9	85,8	82,2
3. β) Wurzellösliches Kali.								
Stroh-düngerreihe	im Boden vorhanden	78,18	67,43	90,22	98,80	181,80	107,65	104,01
	durch die Pflanzen aufgenommen	30,39	31,29	30,57	40,60	44,65	38,23	35,96
	Ausnutzung %	38,9	46,4	33,9	41,1	24,6	35,5	36,7
Torf-düngerreihe	im Boden vorhanden	62,67	50,84	76,93	85,90	142,95	84,41	83,95
	durch die Pflanzen aufgenommen	37,92	32,81	36,80	49,32	56,66	45,22	43,12
	Ausnutzung %	60,5	64,5	47,8	57,4	39,7	53,6	53,9

Lebenslauf.

Am 3. Dezember 1902 wurde ich als Sohn des jetzigen Oberpostsekretärs Wilh. Niemeyer zu Münster i. W. geboren. Nach 4jährigem Besuch der Volksschule trat ich Ostern 1913 in die Sexta des Schiller-Gymnasiums zu Münster i. W. ein, das ich Ostern 1922 mit dem Reifezeugnis verließ. Von Ostern 1922 an studierte ich in Münster Chemie mit Ausnahme des Sommersemesters 1925, das ich in Wien verbrachte. Im Wintersemester 1924/25 bestand ich das erste, im Sommersemester 1926 das zweite Verbandsexamen.